

VICTOR DANIEL HEREDIA ROSALES

PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE UMA MÁQUINA MULTIFUNCIONAL
PARA APLICAÇÃO NA ÁREA DA COMUNICAÇÃO VISUAL

Florianópolis, abril de 2007.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
ENGENHARIA MECÂNICA

PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE UMA MÁQUINA MULTIFUNCIONAL
PARA APLICAÇÃO NA ÁREA DA COMUNICAÇÃO VISUAL

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA.

VICTOR DANIEL HEREDIA ROSALES

Florianópolis, abril de 2007.

PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE UMA MÁQUINA MULTIFUNCIONAL
PARA APLICAÇÃO NA ÁREA DA COMUNICAÇÃO VISUAL

VICTOR DANIEL HEREDIA ROSALES

Esta dissertação foi julgada para a obtenção do título de
MESTRE EM ENGENHARIA

ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA

Sendo aprovada em sua forma final
pelo programa de pós-graduação em engenharia mecânica

Prof. Dr. Ing. Carlos Alberto Martin
Orientador

David Pimentel Burgoa, Dr. Eng.
Co-orientador

Prof. Fernando Cabral, Ph. D.
Coordenador

BANCA EXAMINADORA

Prof. André Ogliari, Dr. Eng.

Prof. João Carlos de Espíndola Ferreira, Ph.D.

Prof. Winderson Eugenio dos Santos, Dr. Eng.

Dedico este trabalho aos meus pais como eterna gratidão:

Ximena Silvia Rosales Lucero.

Jaime Roberto Heredia Garcia.

A meu querido irmão Nelson Nicolas, sua esposa Rosa e minha sobrinha Paulina, sem deixar de mencionar à senhora Patrícia Acosta Morales e família.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Carlos Alberto Martin, pela paciência e permanente apoio recebido.

Ao Dr. David Pimentel Burgoa, pelo estímulo, orientação e sugestões no processo desta dissertação.

A todos os professores e colegas da Universidade Federal de Santa Catarina e da Universidade de Tarapacá (Arica-Chile) pelo interesse, sugestões e apoio fundamentais para o sucesso desta dissertação.

Quanto a meus amigos (André, Antonio, Caroline, Éder, Estefano, Fábio, Fabrício, Filipe, Gledson, Janice, João Paulo, Luciano, Rosane, Yesid) agradeço a todos pela compreensão da minha ausência em todas as ocasiões em que este trabalho teve prioridade e ao apoio e incentivo motivadores que auxiliaram no término da dissertação.

A todas pessoas que de alguma forma contribuíram para a obtenção deste importante objetivo na minha carreira acadêmica.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro deste trabalho, através da bolsa de mestrado.

SUMÁRIO

DEDICATORIA	III
AGRADECIMENTOS	IV
SUMARIO	V
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS	XI
LISTA DE ABREVIACÕES	XIII
RESUMO	XIV
ABSTRACT	XV
 CAPÍTULO 1	
INTRODUÇÃO	
1.1. Introdução	1
1.4. Estrutura do trabalho	4
 CAPÍTULO 2	
ESTADO DA ARTE	
2.1. Introdução	7
2.2. Diferentes concepções dos equipamentos existentes no mercado	8
2.3. Tipos de movimentação do pórtico do equipamento multifuncional	11
Movimentação contínua ou vetorial	11
Movimentação seqüencial ou varredura	11
2.4. Componentes comuns dos posicionadores	12
2.4.1. Guias de movimento	13
2.4.2. Acionamentos ou atuadores	14
A. Acionamentos translativos (“lineares”)	14
B. Acionamentos rotativos	14
Acionamentos de passo	15
Servoacionamentos	15
2.4.3. Transmissão mecânica	18
A. Redutores	18
B. Transmissões conversoras	19
C. Fuso de esferas	20
D. Conjunto polia e Correia sincronizadora	21
2.4.4. Sistemas de medição para posicionadores	22
Transdutores	22
Transdutores de posição	24
Transdutores de presença/proximidade	25
2.4.5. Dispositivos de comando/controle	27
2.5. Dispositivos específicos no EM-01/01	30
2.5.1. Cabeçotes	31
Ferramentas ativas para função impressão digital	31
Ferramenta ativa para função de corte/gravação LASER	32
Ferramenta ativa para função riscagem do vidro	33
Ferramenta ativa para função corte por estilete	34
Ferramenta ativa para função plotagem	34
2.5.2. Tipos de ferramentas ativas e cabeçotes	34
2.5.3. Superfície da mesa para suporte de material laminado	38
 CAPÍTULO 3	
CONCEPÇÃO DO EQUIPAMENTO	
3.1. Desenvolvimento do produto	39
3.2. Projeto informacional	40
3.2.1. Plano do projeto do EM-01/01	41

3.2.2.	Escopo do produto	42
3.2.3.	Tecnologia disponível	42
3.2.4.	Produtos similares	43
3.2.5.	Estimativa de potenciais empresas usuárias do EM-01/01	43
3.2.6.	Demandas explicitadas pelas empresas de CV	44
3.2.7.	Restrições ao projeto do EM-01/01	45
3.2.8.	Ciclo de vida do EM-01/01	45
3.2.9.	Requisitos das empresas de CV	46
3.2.10.	Especificação do EM-01/01	51
	Pontos conflitantes do EM-01/01	51
	A. Estrutura mecânica	51
	B. Especificações de movimento	53
	C. Perfis de velocidades no comportamento do EM-01/01	54
	D. Placa de controle de movimento	57
	E. Linguagem do software	57
3.3.	Projeto conceitual	61
3.4.	Concepção final escolhida do EM-01/01	67
CAPÍTULO 4 MODELAGEM E SIMULAÇÃO DINÂMICA DO EQUIPAMENTO		
4.1.	Introdução	70
4.2.	Limitações do modelo usado na simulação dinâmica	71
4.3.	Estudo de caso da DP-01/02	71
4.3.1.	Curva do PVM dos eixos	73
4.3.2.	Modelagem da DP-01/02	75
4.3.3.	Modelagem do servoacionamento na DP-01/02	80
4.3.4.	Modelagem do controlador	84
4.3.5.	Simulações com o modelo dinâmico	87
4.3.6.	Ensaio da DP-01/02 com o software MAX	91
4.4.	Simulação dinâmica do EM-01/01 projetada	95
4.4.1.	Perfil de velocidade de movimento do EM-01/01 projetado	96
4.4.2.	Simulação do modelo dinâmico do EM-01/01 projetado	97
CAPÍTULO 5 SOFTWARE GERENCIADOR DE MOVIMENTO		
5.1.	Introdução	104
5.2.	Software gerenciador do sistema	108
5.3.	Arquivos gráficos	108
5.4.	Implementação do software	110
5.5.	Algoritmo do software gerenciador	111
5.6.	Testes aplicados na DP-01/02	114
5.6.1.	Resumo da configuração do sistema	114
5.6.2.	Verificação da correta interpretação do código G para um desenho em DXF	117
5.6.3.	Teste de trajetória	117
5.6.4.	Teste de repetibilidade da DP-01/02	122
5.6.5.	Teste das características do jato de tinta do aerógrafo	122
5.6.6.	Teste do efeito de diferentes tempos de pausa nos deslocamentos com a DP-01/02	123
5.7.	Exemplos de impressão na DP-01/02	125
CAPÍTULO 6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA A CONTINUIDADE		
6.1.	Conclusões	129
6.2.	Sugestões para desenvolvimentos futuros	133

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	135
ANEXO 1. Materiais aplicados em diferentes serviços de CV (GMS, 2005)	139
ANEXO 2. Equipamentos multifuncionais	
A.2.1. Equipamentos uni-funcionais	141
Equipamento de Impressão	141
Equipamento de corte de vidro	142
Equipamento de corte e gravação LASER.	143
Equipamento de corte por estilete e plotagem.	144
A.2.2. Equipamento bi-funcionais	145
Equipamento de corte por estilete e plotagem por caneta.	146
Equipamento de corte por estilete e corte ou gravação por LASER.	148
A.2.3. Equipamentos multifuncionais	150
ANEXO 3. Normas técnicas de especificações de equipamento	152
ANEXO 4. Matriz de apoio ao levantamento de necessidades	154
ANEXO 5. Elementos de circuito	158
ANEXO 6. Perfil de velocidade de movimento da DP-01/02 no LHW	
A.6.1. Eixo X	159
A.6.2. Eixo Y	162
ANEXO 7. Medição experimental dos coeficientes usados na simulação dinâmica	
A.7.1. Ensaio realizado na obtenção dos parâmetros dos eixos.	166
A.7.2. Coeficiente de atrito viscoso na polia tracionadora do eixo X	167
A.7.3. Coeficiente de atrito viscoso na polia de desvio do eixo X	169
A.7.4. Coeficiente de atrito viscoso nos casquilhos de esferas recirculantes das guias do eixo X	171
A.7.5. Constante de elasticidade da correia do eixo X	173
A.7.6. Coeficiente de atrito viscoso nas polias do eixo Y	175
A.7.7. Coeficiente de atrito viscoso nos casquilhos de esferas recirculantes das guias do eixo Y	177
A.7.8. Constante de elasticidade da correia do eixo Y	179
A.7.9. Torque de perturbação gerada pela esticada da correia	182
ANEXO 8. Ajuste do servo sistema	185
ANEXO 9. Perfil de velocidade de movimento do EM-01/01 projetado (calculado ideal)	
A.9.1. Eixo X	190
A.9.2. Eixo Y	193
ANEXO 10. Resumo dos formatos de arquivos gráficos mais comuns	197
ANEXO 11. Exemplo do processo da decodificação do desenho	199

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Esquema de movimento vetorial (Burgoa, 2004).	11
FIGURA 2	Esquema de movimento seqüencial (Burgoa, 2004).	12
FIGURA 3	Exemplos de guias cilíndricas a) aberta b) fechada.	13
FIGURA 4	Exemplos de guias prismáticas a) aberta b) fechada.	13
FIGURA 5	Exemplos de guias segundo o tipo de atrito.	13
FIGURA 6	Servomotor translativo.	16
FIGURA 7	Servomotor rotativo.	16
FIGURA 8	Fuso de esferas.	20
FIGURA 9	Conjunto polia e correia.	21
FIGURA 10	Arquitetura funcional das CNC de arquitetura aberta para MCB.	29
FIGURA 11	Arquitetura funcional das CNC de arquitetura aberta para CLP Comercial e <i>hardware</i> robusto.	29
FIGURA 12	Modelo unificado do processo de desenvolvimento de produtos (ROZENFELD, 2005).	40
FIGURA 13	Atividades da fase de projeto informacional (ROZENFELD, 2005).	41
FIGURA 14	Casa da Qualidade, utilizando-se o software WinQFD.	50
FIGURA 15	Requisitos do Servosistema do eixo X no EM-01/01 projetado.	55
FIGURA 16	Requisitos do Servosistema do eixo Y no EM-01/01 projetado.	56
FIGURA 17	Atividades da fase de projeto conceitual (ROZENFELD, 2005).	61
FIGURA 18	Arranjo selecionado para o EM-01/01.	68
FIGURA 19	Arranjo eixo X do EM-01/01.	69
FIGURA 20	Arranjo eixo Y do EM-01/01.	69
FIGURA 21	DP-01/02 no LHW.	73
FIGURA 22	Requisitos do Servoacionamento do eixo X na DP-01/02.	74
FIGURA 23	Requisitos do Servoacionamento do eixo Y na DP-01/02.	75
FIGURA 24	Componentes do eixo X da DP-01/02 (Burgoa, 2004).	76
FIGURA 25	Componentes do eixo Y da DP-01/02.	76
FIGURA 26	Esquema geral do sistema completo do EM-01/02, pórtico X-Y.	77
FIGURA 27	Modelo eletro-mecânico do eixo X da DP-01/02 utilizando elementos de circuito (Burgoa, 2004).	79
FIGURA 28	Modelo eletro-mecânico do servomotor, em bloco-diagrama funcional.	81
FIGURA 29	Diagrama de blocos do servodriver.	81
FIGURA 30	Diagrama de blocos do servoacionamento (Unbehauen, 1996).	81
FIGURA 31	Diagrama de blocos de um servoacionamento no modo comando em velocidade.	83
FIGURA 32	Diagrama de blocos de um servoacionamento no modo comando em torque.	83
FIGURA 33	Bloco-diagrama funcional do servoposicionador do eixo X.	84
FIGURA 34	Bloco-diagrama funcional do eixo X da DP-01/02 com o controlador PID inserido.	86
FIGURA 35	Bloco-diagrama funcional do eixo X da DP-01/02 com respectivas grandezas físicas.	87
FIGURA 36	Modelo dinâmico do eixo X da DP-01/02 implementado no <i>Simulink</i> .	88
FIGURA 37	Parâmetros escolhidos no MAX para o controlador PID do eixo X.	92
FIGURA 38	Resposta ao degrau de posicionamento no eixo X da DP-01/02.	93
FIGURA 39	Simulação do PVM no eixo X da DP-01/02.	93
FIGURA 40	Modelo dinâmico dos eixos do EM-01/01 implementado no <i>Simulink</i> .	98

FIGURA 41	Função “blend 0” (sem tempo de parada entre movimentos).	105
FIGURA 42	Função “blend 1” (com tempo de parada entre movimentos).	106
FIGURA 43	Função “blend 2” misturando perfis de movimentos entre segmentos.	106
FIGURA 44	Desenho aplicado nos testes da DP-01/01 e DP-01/02.	107
FIGURA 45	Desenho (<i>B/W</i>) implementado na movimentação usando DP-01/02.	109
FIGURA 46	Desenho (<i>color</i>) implementado na movimentação usando DP-01/02.	110
FIGURA 47	Programa principal em fluxograma do <i>software</i> Labview.	112
FIGURA 48	Detalhe do eixo Y da DP-01/01.	114
FIGURA 49	Detalhe do eixo Y da DP-01/02.	114
FIGURA 50	Aerógrafo implementado no equipamento.	115
FIGURA 51	Arranjo dos desenhos usados neste teste.	117
FIGURA 52	Desenho usado nos testes de trajetória.	118
FIGURA 53	Teste de repetibilidade do equipamento.	122
FIGURA 54	Eleto-válvula MH2 usada na ativação do jato de tinta, tempo de resposta de 2ms.	125
FIGURA 55	Resultado final da impressão do primeiro desenho em preto e branco (tempo de trabalho = 45 min) (660 x 960 mm).	126
FIGURA 56	Processo de impressão do segundo desenho em 4 cores básicas (tempo de impressão = 150 min) (2500 x 1800 mm).	127
FIGURA 57	Impressora, modelo UVJET_215-PLUS.	142
FIGURA 58	Corte de vidro, modelo VER 370PR.	143
FIGURA 59	Corte e gravação LASER, modelo ACRILA.	144
FIGURA 60	Corte por estiletes, modelo DT6646.	145
FIGURA 61	Equipamento bi-funcional, de corte por estilete e plotagem por caneta.	147
FIGURA 62	Cabeçote de três configurações para cinco tipos de ferramenta.	147
FIGURA 63	Cabeçote porta estiletes e caneta.	149
FIGURA 64	Cabeçote porta bico LASER.	149
FIGURA 65	Equipamento multifunção, modelo VARIOTRON.	151
FIGURA 66	Sistema de medição torque-velocidade.	166
FIGURA 67	Sistema de medição torque-deslocamento angular.	167
FIGURA 68	Esquema do ensaio realizado na medição do atrito viscoso.	167
FIGURA 69	Curva de atrito viscoso na polia tracionadora.	169
FIGURA 70	Esquema do ensaio realizado na medição do atrito viscoso.	169
FIGURA 71	Curva de atrito viscoso na polia de desvio.	171
FIGURA 72	Esquema do ensaio realizado na medição do atrito viscoso.	171
FIGURA 73	Curva de atrito viscoso nos casquilhos de esferas recirculantes.	173
FIGURA 74	Esquema do ensaio realizado na medição da constante de elasticidade.	173
FIGURA 75	Curva da constante de elasticidade.	175
FIGURA 76	Esquema do ensaio realizado na medição do atrito viscoso.	175
FIGURA 77	Curva de atrito viscoso nas polias do eixo Y.	177
FIGURA 78	Esquema do ensaio realizado na medição do atrito viscoso.	177
FIGURA 79	Curva de atrito viscoso nos casquilhos de esferas recirculantes.	179
FIGURA 80	Esquema do ensaio realizado na medição da constante de elasticidade.	179
FIGURA 81	Curva da constante de elasticidade.	181
FIGURA 82	Diagrama de forças no eixo X.	182
FIGURA 83	Diagrama de forças no eixo Y.	183
FIGURA 84	Sistema tensor aplicado na correia do eixo X.	183
FIGURA 85	Sistema tensor aplicado na correia do eixo Y.	183

FIGURA 86	Curva de resposta ao degrau	185
FIGURA 87	Algoritmo de controle inserto na placa de controle da <i>National Instrument</i> .	186
FIGURA 88	Interface usada pelo software MAX na configuração dos parâmetros PID.	187
FIGURA 89	Desenho de exemplo feito no <i>software</i> Autocad.	199
FIGURA 90	Decodificação do desenho exemplo feito no <i>software</i> Autocad.	200
FIGURA 91	Tela inicial do software “equipamulti”.	200
FIGURA 92	Entrada de dados em forma escrita.	201
FIGURA 93	Entrada de dados a partir de arquivo.	201
FIGURA 94	Sub-rotina que realiza o preenchimento da “matriz posicionamento”.	201
FIGURA 95	Interior da sub-rotina que cria a matriz posicionamento.	202
FIGURA 96	Matriz de posicionamento.	204
FIGURA 97	Tela gráfica do software “equipamulti”.	209

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Resumo das propriedades dos equipamentos uni-funcionais existentes.	10
TABELA 2	Caracterização dos acionamentos de passo.	15
TABELA 3	Comparação das características dos servoacionamentos translativos.	16
TABELA 4	Caracterização dos servomotores CC com escova.	17
TABELA 5	Caracterização dos servomotores <i>brushless</i> .	18
TABELA 6	Características dos redutores.	19
TABELA 7	Caracterização dos fusos de esferas.	20
TABELA 8	Caracterização do conjunto polia e correia sincronizadora.	21
TABELA 9	Classificação de transdutores usados em posicionadores.	23
TABELA 10	Comparação dos tradutores de posição mais usados na atualidade.	24
TABELA 11	Descrição simplificada dos tipos de transdutores de presença/proximidade mais usados na atualidade.	25
TABELA 12	Ferramentas, tipos de engates e cabeçotes normalizados.	35
TABELA 13	Especificações técnicas do equipamento multifuncional a ser comparada.	43
TABELA 14	Resultado da pesquisa na região sul do Brasil.	44
TABELA 15	Principais municípios pesquisados.	44
TABELA 16	Ciclo de vida do produto.	45
TABELA 17	Requisitos levantados pelas empresas de CV para o projeto do EM-01/01.	46
TABELA 18	Categorização dos requisitos de usuarios.	47
TABELA 19	Requisitos do EM-01/01.	51
TABELA 20	Resolução de medição do cabeçote no EM-01/01.	54
TABELA 21	Especificações necessárias do eixo X.	56
TABELA 22	Especificações necessárias do eixo Y.	57
TABELA 23	Resumo das especificações do EM-01/01.	59
TABELA 24	Classificação dos métodos de criatividade.	62
TABELA 25	Alternativas de solução.	63
TABELA 26	Características construtivas da DP-01/02 no LHW.	72
TABELA 27	Grandezas usadas na figura 27.	79
TABELA 28	Grandezas usadas nas figuras 28, 29 e 30.	82
TABELA 29	Grandezas usadas nas figuras 31 e 32.	83
TABELA 30	Classificação dos controladores.	85
TABELA 31	Grandezas usadas na figura 34.	86
TABELA 32	Grandezas usadas na DP-01/02 apresentadas na figura 36.	87
TABELA 33	Coeficientes necessários na simulação do eixo X.	89
TABELA 34	Especificações necessárias na simulação do eixo X.	89
TABELA 35	Resposta ao degrau do modelo dinâmico do eixo X da DP-01/02.	90
TABELA 36	Comparação dos resultados obtidos nas simulações da DP-01/02 no LHW.	94
TABELA 37	Servoacionamento escolhidos no EM-01/01 projetado.	96
TABELA 38	Coeficientes necessários na simulação dos eixos do EM-01/01.	97
TABELA 39	Resposta ao degrau do modelo dinâmico do eixo X do EM-01/01 projetado.	99

TABELA 40	Resposta ao degrau do modelo dinâmico do eixo Y do EM-01/01 projetado.	101
TABELA 41	Características do protótipo modificado DP-01/02.	116
TABELA 42	Características do servoacionamento do eixo Y (inicialmente projetado) (DP-01/01) (Burgoa, 2004).	118
TABELA 43	Impressão do desenho usado no teste de trajetória.	119
TABELA 44	Teste da largura do jato de tinta a diferentes “alturas” e velocidades.	123
TABELA 45	Teste de aplicação de diferentes tempos de parada.	124
TABELA 46	Dados obtidos do ensaio na polia tracionadora.	168
TABELA 47	Dados obtidos do ensaio na polia de desvio.	170
TABELA 48	Dados obtidos do ensaio nos casquilhos de esferas recirculantes do eixo X.	172
TABELA 49	Dados obtidos do ensaio no parafuso da unidade tracionadora da correia.	174
TABELA 50	Dados obtidos do ensaio das polia da porta-cabeçote no eixo Y.	176
TABELA 51	Dados obtidos do ensaio nos casquilhos de esferas recirculantes do eixo Y.	178
TABELA 52	Dados obtidos do ensaio no parafuso da unidade tracionadora da correia.	180
TABELA 53	Faixas dos parâmetros usados na configuração do controle PID.	189
TABELA 54	Sub-rotinas onde é decodificada a linguagem G.	203
TABELA 55	Relação entre linhas de código G e vetores da matriz posicionamento.	205

LISTA DE ABREVIACÕES

CA	C orrente A lternada.
CAD	C omputer A ided D esign.
CC	C orrente C ontínua.
CV	C omunicação V isual.
DSP	D igital S ignal P rocessor.
DP-01/01	D igital P rinter versão 01/01.
DP-01/02	D igital P rinter versão 01/02, redutor e servomotor diferente no eixo Y.
DWG	Standard D rawing Cad.
DXF	D rawing intere X ange F ormat.
EM-01/01	E quipamento M ultifuncional versão 01/01.
IEC	I nternational E lectrotechnical C ommission.
ISO	I nternational O rganization for S tandardization.
LASER	L ight A mplification by the S timulated E mission of R adiation.
LASER CO ₂	C arbon D ioxide LASER.
LASER nd:YAG	N eodymium- d oped Y ttrium A luminium G arnet.
LHW	Laboratório de H ardware.
LVDT	L inear V ariable D ifferential T ransformer.
MAX	M easurement and A utomation E xplorer.
MCB	M otion C ontrol B oard.
MDF	M edium- d ensity F ibreboard.
NBR	Associação Brasileira de Normas Técnicas: N ormas B rasileiras.
NBR NM	Normas Brasileiras: N orma de segurança de M áquinas.
NI	N ational I nstrument.
NR	N orma R egulamentadora.
PVM	P erfil de V elocidade de M ovimento.
PWM	P ulse- w idth M odulation.
QFD	Q uality F unction D eployment.
SIT	S ystematic I nventive T hinking.
SSCs	S istemas, S ubsistema C omponentes.
TRIZ	“ T eoriya R esheniya I zobretatelskikh Z adatch” (Russo). Theory of Inventive Problem Solving.

RESUMO

Para a realização dos variados tipos de serviços de publicidade, as empresas de comunicação visual necessitam de diversos equipamentos, os quais podem representar investimentos elevados, dependendo das inovações técnicas envolvidas. Estas empresas, em sua maioria, não possuem capital de investimento suficiente para adquiri-las. Além disso, o uso de cada um destes tipos de equipamento não é contínuo, em função das distintas características dos serviços requeridos. Observa-se ainda, que é necessário espaço físico para cada um dos equipamentos. Isto obriga tais empresas a se agruparem ou então terceirizarem seus serviços, aumentando sempre o custo final destes.

Daí decorre o objetivo deste trabalho que é analisar e projetar um único equipamento multifuncional, que realize as funções dos cinco equipamentos de maior uso atualmente no mercado da publicidade (Impressora, plotagem, corte/gravação LASER, corte por estiletes e riscadora de vidro). Uma grande dificuldade reside no fato de haver requisitos de projeto de difícil compatibilização, para estas cinco funções (equipamentos) numa mesma e única concepção básica. Em tal equipamento tem que ser utilizados componentes que permitam suficiente flexibilidade, para conversão fácil e rápida entre as cinco funções. Além disso, ele deve poder ser adquirido de forma modular, podendo ser inicialmente adquirido o módulo daquela função que o cliente mais carece naquele momento, podendo posteriormente ir complementando-a, com módulos, para as outras funções. Desta forma ter-se-á um único equipamento, ocupando um único espaço físico, para as cinco funções. Neste trabalho ainda se apresenta a análise e projeto da tecnologia de controle no desenvolvimento de sistemas de posicionamentos em pórtico X-Y com 2 ½ graus de liberdade. Realiza-se também o modelamento matemático e simulação dinâmica. Ainda, traz-se o estudo e desenvolvimento do software gerenciador capaz de decodificar os arquivos de desenho nos formatos mais comuns existentes na atualidade. Os ensaios experimentais são realizados num outro equipamento-protótipo já operacional, adaptado, cujos resultados são comparáveis com os do equipamento multifuncional projetado.

ABSTRACT

The visual communication companies need a great deal of equipments for achieving all types of advertising services, which can represent high investments depending on the technical innovations involved. These types of companies (most of them) don't own enough investment capital to purchase all them. Besides, the use of each one of these types of equipments is not continual because of the required services' distinct characteristics. Moreover, costly physical space for each equipment is needed. This compels such companies if to group or to outsourcing its services, always increasing the final cost of these.

The objective of this work is to analyze and design a multifunctional equipment that executes the functions of the five most currently used equipments in the advertising market. A great difficulty resides in the fact that there are design requirements difficult to make compatible for those five functions in the same basic conception. In the equipment there must be utilized components that permit sufficient flexibility for easy and quick conversion between each of the five functions. Besides it can be acquired in modular form, which can be initially acquired the module of the function the costumer most needs at that moment, and later being supplied, with modules, for the other functions. Thus, there will be a single equipment occupying a single physical space for those five functions. Still, this work presents an analysis and design of the control technology on the development of positioning systems in gantry X-Y with 2 ½ of freedom, and further some mathematical modeling and experimental dynamic simulation. Moreover, this work presents a study and development of manager software that is able to decode the design files into the most common formats currently available. The experimental attempts are carried out in another equipment prototype already operational and here fore adapted, from which results are comparable to that of the designed multifunctional equipment.

Capítulo 1 INTRODUÇÃO

1.1. Introdução

A publicidade é uma atividade de comunicação que transmite aos indivíduos informação de um produto, informação cujo objetivo fundamental é estimular a demanda deste, persuadindo, convencendo e seduzindo o público para um determinado bem de consumo, serviço, indivíduo ou idéia (Jones, 2002). Para atingir tal persuasão, a publicidade utiliza uma infinidade de recursos estilísticos e estratégias na apresentação do produto como um bem imprescindível para o consumidor.

Segundo Thompson (2002), os tipos de publicidade mais usados na atualidade são: publicidade de exteriores ou mídias, e a publicidade de marketing direto ou de volantes. Para se atender a uma infinidade de serviços que podem ser realizados nestes tipos de publicidade, são usados pelas empresas de Comunicação Visual (CV) diferentes materiais-padrão (GMS, 2005) e equipamentos. No anexo 1 são apresentados alguns destes serviços com os necessários materiais e equipamentos que se precisa para realizar os serviços.

Na realização da maioria de serviços de publicidade as empresas de CV precisam basicamente de cinco tipos de equipamentos (Shaver, 2002), isto devido à

grande variedade de materiais utilizados nos diversos produtos realizados na área da CV.

- Impressora.
- Corte e gravação LASER.
- Corte por estiletes.
- Plotagem.
- Riscadora de vidro.

Os equipamentos que as empresas de CV geralmente utilizam podem ser encontrados na atualidade em concepções uni, bi ou multifuncionais que podem representar altos investimentos, dependendo da sofisticação técnica e tamanhos dos mesmos.

Entretanto, micros e pequenas empresas de CV não contam com recursos de investimento suficiente para dispor de todos os equipamentos que lhes seriam necessários para atender satisfatoriamente os clientes; além disso, o espaço requerido por tal elenco de equipamentos representa custos adicionais, e as empresas dos portes citados anteriormente também não dispõem de espaço físico suficiente para isso, sendo-lhes proibitivo, sem uso.

Observa-se ainda que a necessidade dos diversos serviços elencados, usualmente não é contínua, fazendo com que a ociosidade dos equipamentos seja alta e a amortização monetária inviável.

Todas estas premissas acima ajudam a concluir que, um equipamento que seja flexível o suficiente para converter-se facilmente em vários tipos dos equipamentos requeridos, e que seja economicamente acessível, pode ser uma opção muito conveniente. As empresas precisariam apenas de um equipamento para realizar a grande maioria dos serviços pedidos pelos clientes.

Um equipamento capaz de atender todos estes anseios não está disponível no mercado. A razão é que os tipos de serviços elencados são de natureza bem diversa e os fabricantes estabelecidos, ao contrário, são especializados em produzir equipamentos dedicados a operações únicas isoladamente. Ainda a resolução oferecida pelos equipamentos específicos é muito superior à necessária nos serviços de CV. Outro motivo porque um equipamento multifunção não está disponível, é devido aos componentes bem específicos exigidos para cada tipo de equipamentos e a troca destes quando se deseja usar uma outra função, p/ex, no corte por LASER, é preciso outros componentes muito diferentes dos usados, p/ex, para a impressora.

Em suma, os equipamentos disponíveis no mercado contemplam prioritariamente as demandas de prestador de serviços avançado.

É neste sentido que o presente projeto de um equipamento multifunção-flexível está sendo idealizado, sendo balizado em termos de custos de investimento pelas limitações das empresas de comunicação visual de micro e pequeno porte.

Assim, o trabalho aqui apresentado trata da análise, projeto e desenvolvimento de um Equipamento Multifuncional (EM-01/01). Capaz de atender às necessidades das empresas de CV a um custo compatível e ainda que possa ser adquirido em forma gradual. Por ser modular, reduz-se a necessidade de um elevado aporte inicial de recursos. O cliente poderia então iniciar adquirindo a função de que mais carece naquele momento, podendo no futuro ir ampliando-o para as várias outras funções, através da aquisição dos respectivos módulos específicos de cada equipamento.

Com o objetivo de desenvolver este projeto será realizado inicialmente um estudo aprofundado dos tipos de equipamentos a constituírem o EM-01/01, posteriormente um projeto conceitual da estrutura mecânica com integração da eletro-eletrônica e do *software* gerenciador, até a etapa final de concepção do produto.

O equipamento proposto para bem atender à maioria de serviços de publicidade das empresas de CV, deve operar como:

- Impressora, ao acoplar cabeçote impressor.
- Sistema de corte e gravação, acoplando LASER. (acrílicos, tecido, etc.)
- Equipamento de corte de chapas (papelão e plásticos) de espessuras reduzidas, acoplando estiletes de diferentes geometrias.
- Equipamento de desenho vetorial (plotadora), acoplando caneta o um aerógrafo.
- Equipamentos cortadores de vidro, acoplando riscadora de ponta de diamante.

Deve também ter área de trabalho suficiente para permitir realizar operações em materiais de diferentes tipos como: papel, papelão, adesivo, acrílico, plásticos, tecidos, madeiras, couros, polipropileno, policarbonato, borrachas, vidro, etc, que são hoje materiais de uso freqüente em publicidade e comunicação visual, tal como existem disponíveis atualmente no mercado. Anexo 1.

Na metodologia de desenvolvimento do projeto do EM-01/01 contemplam-se os seguintes itens:

- Projeto informacional: procurar as necessidades do consumidor, informações do mercado para definir os requisitos do projeto, para ter um produto bem sucedido.
- Projeto conceitual: estudos comparativos entre diversas tecnologias para a realização do EM-01/01.

No âmbito do projeto conceitual devem-se realizar também simulações dinâmicas de modelos matemáticos dos componentes do sistema de movimentação do EM-01/01. A verificação é feita para prever se estes componentes permitem atingir os requisitos do projeto (encontrados no item 3.2.10, tabelas 21 e 22), se comparando os modelos matemáticos do EM-01/01 com o eixo X das simulações dinâmicas de modelos matemáticos dos componentes do sistema de movimentação do equipamento protótipo existente no laboratório LHW (DP-01/01), usada para o estudo de caso, pelo sua similitude de uns de seus eixos.

Concluindo deseja-se analisar, projetar e desenvolver um equipamento multifuncional para micro e pequenas empresas de CV, que contenha numa mesma estrutura os equipamentos que fazem a maior quantidade de serviços na área da publicidade gráfica. Tal equipamento tem que ter uma área de trabalho que aloje a grande maioria de materiais comercialmente disponível, necessários nos serviços de comunicação visual. Outra de suas características é sua rápida e fácil troca dos componentes indispensável na mudança de um equipamento para outro, podendo ser adquirida de forma modular.

1.2. Estrutura do trabalho

O presente trabalho está estruturado em seis capítulos:

No Capítulo 2.- Estado da arte: neste capítulo são apresentados e estudados os possíveis componentes mais próximos da aplicação projetada, além de uma pesquisa no mercado mundial de equipamentos existentes requeridas pelos serviços das empresas de CV. É importante recalcar que somente são indicados os componentes mais próximos para a aplicação projetada, por ser este um tema recorrente na atualidade.

Neste capítulo (estado da arte) é ordenada a informação como segue:

Elementos mecânicos

Estrutura de suporte (mesa)

Guias de movimento

Transmissão mecânica

Redutores

Transmissões conversoras

Fuso de esferas

Polia e Correia sincronizadora

Elementos eletro-mecânicos

Acionamentos ou atuadores

Acionamentos translativos (“lineares”)

Acionamentos rotativos

Acionamentos de passo

Servoacionamentos

Elementos eletro-eletrônicos

Sistemas de medição para posicionadores

Transdutores de posição

Transdutores de presença/proximidade

Dispositivos de comando/controle

Placas de controle de movimento

Software

Dispositivos específicos no EM-01/01:

Ferramentas

Para função impressão digital

Para função de corte/gravação LASER

Para função riscagem do vidro

Para função corte por estilete

Para função plotagem

Tipos de engates e cabeçotes

Superfície da mesa para suporte de material laminado

No Capítulo 3.- Concepção do equipamento: neste capítulo são apresentados os fundamentos do processo de desenvolvimento de produtos, aplicadas na procura da melhor solução para o equipamento multifuncional requisitada pelas empresas de CV, se aplicando somente as fases de projeto informacional e projeto conceitual. Está descrita no final deste capítulo a solução encolhida para o equipamento multifuncional.

Pela extensão do processo desta metodologia não foram anexados o procedimento detalhado de alguns resultados, somente foram listados e explicadas seus resultados.

No Capítulo 4.- Modelagem e simulação dinâmica do equipamento: neste capítulo é apresentado a modelagem dinâmica para obter uma melhor compreensão do comportamento dinâmico do sistema, interagindo como um todo. Tendo nesta simulação a possibilidade de mudar os parâmetros e partes, e confirmar se foi feita uma boa seleção e dimensionamento dos componentes do equipamento por parte do projetista, feito no capítulo 3 deste trabalho.

No Capítulo 5.- Software gerenciador de movimento: neste capítulo foi implementado o *software* desenvolvido para o equipamento projetado, mas é testado num equipamento de semelhança construtiva. A necessidade deste capítulo, é de encher os pontos conflitantes do projeto, além da sintonização dos dispositivos de comando/controle, e características próprias deste tipo de equipamentos em portico X-Y.

No Capítulo 6.- Conclusões e sugestões para a continuidade: neste capítulo são discutidos as vantagens e desvantagens da abordagem utilizada e da solução encontrada no sistema todo, se respondendo as questões levantadas inicialmente na pesquisa . Além são discutidas algumas recomendações para pesquisa futura.

Além dos capítulos já apresentados, existem 11 anexos que complementam este trabalho.

Capítulo 2 ESTADO DA ARTE

2.1. Introdução

Para focalizar o estudo dos possíveis componentes constituintes dos equipamentos mais usadas pelos serviços requeridos nas empresas de CV, e um maior entendimento dos tipos e diferenças entre estas e o EM-01/01, foi feita uma pesquisa de equipamentos existentes (anexo 2), agrupadas segundo suas funcionalidades em equipamentos uni-funcionais, bi-funcionais e multifuncionais. As funcionalidades são relativas ao “número de funções” combinadas numa mesma estrutura (equipamento de corte por LASER, de plotagem, de impressão, de riscagem de vidro e de corte por estilete). Além disso, se faz uma pesquisa de cada um dos elementos constituintes específicos do EM-01/01, análise de toda a estrutura envolvida no equipamento e os tipos existentes mais próximos da aplicação projetada.

Os equipamentos são classificados como equipamentos ferramenta de comando numérico com movimentação em 2 ½ eixos. Estes equipamentos são projetados para se adaptar às diferentes características e configurações dos produtos que se deseja fabricar, com alto grau de integração e versatilidade. As tarefas a serem realizada pelo EM-01/01 são definidas pelas instruções dadas pelo

operador (ingresso de desenho e serviço a fazer, que pode ser gravação, impressão, etc.).

2.2. Diferentes concepções dos equipamentos existentes no mercado

A pesquisa feita do mercado de publicidade a nível mundial, obteve-se os seguintes cinco equipamentos de maior uso nas empresas de CV:

- Equipamento de corte e gravação, acoplando um LASER.
- Equipamento de corte de papelão ou plástico, acoplando um estilete.
- Equipamento para riscar vidro, acoplando ferramenta com diamante.
- Equipamento de plotagem, acoplando uma caneta.
- Equipamento para impressão, acoplando um cabeçote com cartuchos.

Na pesquisa ainda encontrou-se um equipamento catalogado como equipamento multifuncional, do fabricante alemão *MECHATRON AG* Modelo *VARIOTRON*, que apresenta quatro das cinco operações requeridas. Além desta achou-se uma diversidade de equipamentos bi-funcionais (corte por estilete mais plotagem) além de amplo espectro de equipamentos uni-funcionais.

Adiantando, uma primeira análise dos tipos de equipamentos individualmente mostra certa vantagem da concepção multifuncional, tanto em relação à qualidade dimensional do produto pronto, quanto à rapidez de execução do serviço. Os equipamentos comerciais uni-funcionais analisados são concebidos para operações únicas exclusivas sem os compromissos do equipamento multifuncional o que permite que apresentem índices de qualidade, desempenho e eficiência muito bons, mas custo elevado, porém inviabiliza a aquisição de cada uma delas nas micro e pequenas empresas, que precisam da citada diversidade de equipamentos para realizar seus serviços de publicidade completos sem ter que terceiriza-los parcialmente (Da Silva, 2005). Há, pois esta contradição direta, já que a execução dos produtos requer variadas técnicas e, portanto, de diferentes tipos de equipamentos.

No anexo 2, como indicou-se anteriormente apresenta-se alguns equipamentos encontrados e classificados pelo número de suas funções e as seguintes características:

- Nome do fabricante.
- Nome do modelo.

- Tipo de movimentos do pórtico.
- Quantidades de ferramentas no cabeçote.
- Dimensão útil de trabalho.
- Material da superfície de trabalho.
- Resolução.
- Velocidade máxima de avanço.
- Tipo de conexão interface equipamento computador.
- Quantidade eixos móveis.
- Tipo de servomotor usado no posicionamento.
- Sistema de fixação do material a ser trabalhado.
- Cabeçote fixo ou intercambiável.
- Sistema de transmissão de movimento.
- Formatos de arquivos de suporte do equipamento.

Na tabela 1 é mostrado um resumo das propriedades dos equipamentos uni-funcionais, onde percebe-se a constituição dos equipamentos comerciais e o que deveria que conter o equipamento projetado classificados segundo as seguintes características:

- Tipo de movimentação.
- Fixação de cabeçote.
- Velocidade máxima de avanço.
- Aceleração/desaceleração ($G=9,81 \text{ m/s}^2$).
- Contacto ferramenta e chapa.
- Fixação da chapa a trabalhar.
- Forma da superfície de serviço.
- Material da superfície de serviço.
- Resolução (mm).
- Tipo de motor de posicionamento.
- Sistema de transmissão de movimento.
- Quantidade de eixos móveis.
- Tipo conexão máquina / computador.
- Quantidades de ferramentas no cabeçote.
- Interação entre o *Software* do equipamento com o software comercial.

Todos estes equipamentos têm estrutura em pórtico X-Y, realizado o serviço acima de uma superfície horizontal.

Tabela 1 Resumo das propriedades dos equipamentos uni-funcionais existentes.

Parâmetro	Corte por estilete	Plotter	Riscado de vidro	Impressora	Laser
Tipo de movimentação	Vetorial	vetorial	vetorial	Varredura	Vetorial/Varredura
Fixação de cabeçote	Intercambiável	Intercambiável	Fixo	Fixo	Fixo
Velocidade máxima de avanço	810 mm/s	810 mm/s	2100 mm/s	1000 mm/s	25 mm/s
Aceleração/desaceleração ($G=9.81 \text{ m/s}^2$)	1,5G	1,08G	0,8G	1G	0,5G
Contacto ferramenta e chapa	Com contato	Com contato	Com contato	Sem contato	Sem contato
Fixação do material a trabalhar	Vácuo	Vácuo	Vácuo	Rolo nos extremos	Sem fixação
Forma da superfície de trabalho	Lisa	Lisa	Lisa	Lisa	Colméia/laminas
Material da superfície de trabalho	Alumínio	Alumínio	Borracha	Alumínio	Alumínio/aço
Resolução (mm)	$\pm 0,01$	$\pm 0,03$	$\pm 0,025$	$\pm 0,4$	$\pm 0,25$
Tipo de Motor de posicionamento	Servomotor	Servomotor	Servomotor	Servomotor	Servomotor
Sistema de transmissão de movimento	Correia sincronizadora	Correia sincronizadora	Correia sincronizadora	Correia sincronizadora	Fuso com casquilho Ou, correia sincro.
Quantidade de eixos móveis	2 ½	2 ½	2 ½	2 ½	3
Tipo conexão máquina / computador	Ethernet 100	Ethernet 100	Ethernet 100	Ethernet 100	Ethernet 100
Quantidades de ferramentas no cabeçote	Duas facas	Uma caneta	Uma caneta	Conjunto de seis cartuchos	Um bico
Interação entre o software do equipamento com o software comercial	Com softwares comerciais	Com softwares comerciais	Específico da máquina	Específico da máquina	Com softwares comerciais

2.3. Tipos de movimentação do pórtico do equipamento multifuncional

Uma das principais características a ser considerada no projeto do EM-01/01 é a forma com que é movimentado o cabeçote onde se encontra a ferramenta de serviço. Existem dois tipos de movimento que dependem diretamente da forma em que vai ser trabalhada a geometria do desenho enviado pelo *software* gerenciador (Burgoa, 2004):

- 1) Se vai ser preciso descrever sua linha de contorno, ou
- 2) Toda sua superfície.

Movimentação contínua ou vetorial

“Uma movimentação contínua é caracterizada por um deslocamento ininterrupto do cabeçote. Para realizar este tipo de movimento é necessário o acionamento simultâneo do cabeçote porta ferramentas em duas coordenadas, como apresentado na figura 1. Aqui os eixos estão-se interpolando simultaneamente gerando no cabeçote um seguimento linear através da marcação continua desta, como nos equipamentos de corte por estilete, plotagem, riscagem em vidro e corte por LASER é preciso ter um acompanhamento do contorno de geometria, tendo que se movimentar utilizando este modo”.

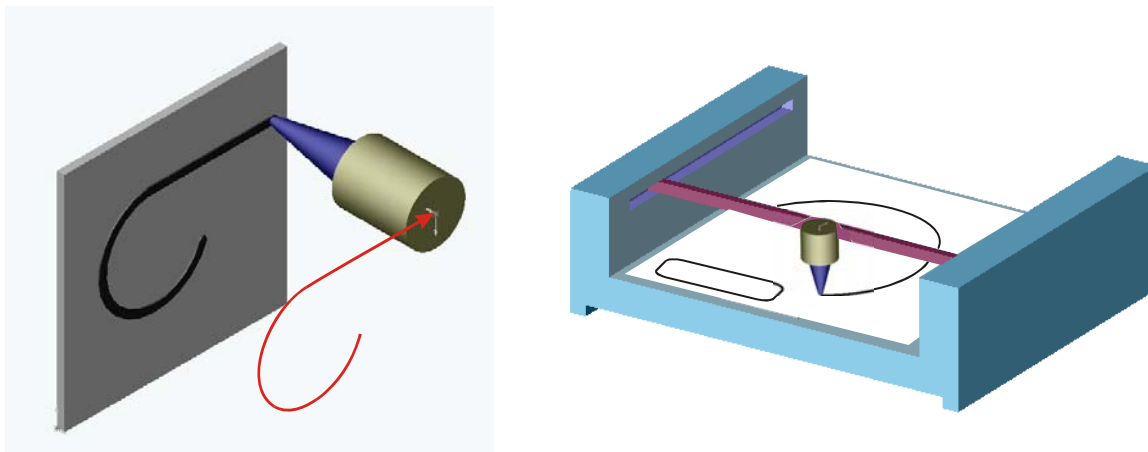


Figura 1 Esquema de movimento Vetorial (Burgoa, 2004).

Movimentação seqüencial ou varredura

“Este tipo de movimento acontece seqüencialmente, primeiro o cabeçote porta ferramentas é posicionado numa coordenada e só quando este finaliza seu movimento é movimentado na segunda coordenada, repetindo este processo até

que seja coberta toda a área de trabalho. Para realizar este tipo de movimento os eixos são acionados independentemente, como apresentado na figura 2, com os equipamentos de impressão e gravação por LASER tem que trabalhar todo o interior da superfície geométrica do desenho, tendo que se movimentar utilizando este modo”.

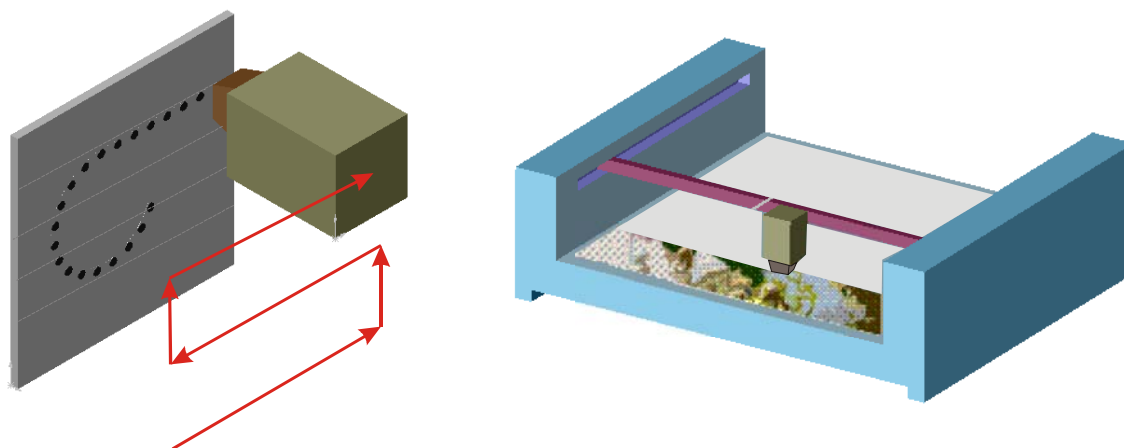


Figura 2 Esquema de movimento Seqüencial (Burgoa, 2004).

2.4. Componentes comuns dos posicionadores

Em estruturas articuladas o número de configurações possíveis de movimento no espaço está relacionado aos graus de liberdade, os EM-01/01 em análise tem dois grau de liberdade, enquadrando-se especificamente no tipo pórtico X-Y. Nesta configuração é possível utilizar uma maior quantidade de materiais a serem trabalhados em formato de chapas. Esta configuração adotada é chamada de equipamentos com 2 ½ eixos, onde o termo ½ refere-se a um terceiro eixo que só é acionado quando a ferramenta ativa tem que começar a funcionar.

Serão detalhadas a continuação os principais componentes destes tipos de equipamentos. Para qualquer outro detalhe mais específico podem ser consultadas as seguintes referências; Soares (1988), Lichtblau (1989), Krüger (1993), Bianchi (1996), Burgoa (1996), Altair (1999), Jesus (1999), Stoeterau (1999), Triveño (2000), Pazos (2002), Martin (2003), Burgoa (2004).

2.4.1. Guias de movimento

É um dos componentes importantes do EM-01/01, cuja função é restringir os graus de liberdade e guiar o cabeçote na direção de um percurso parametrizado entre o cabeçote onde estão as ferramentas e a peça.

As guias podem ser classificadas segundo a forma que ocorre a interação entre o carro e o trilho. Segundo o tipo de atrito: guias de deslizamento, de elementos rolantes e fluídicas (hidrostáticas e aerostáticas); segundo sua geometria: cilíndricas ou prismáticas; ainda, segundo a forma de interação: abertas ou fechadas. Nas figuras 3, 4 e 5 seguem alguns exemplos úteis para posicionadores de médio porte.



Figura 3 Exemplos de guias cilíndricas: a) aberta; b) fechada.

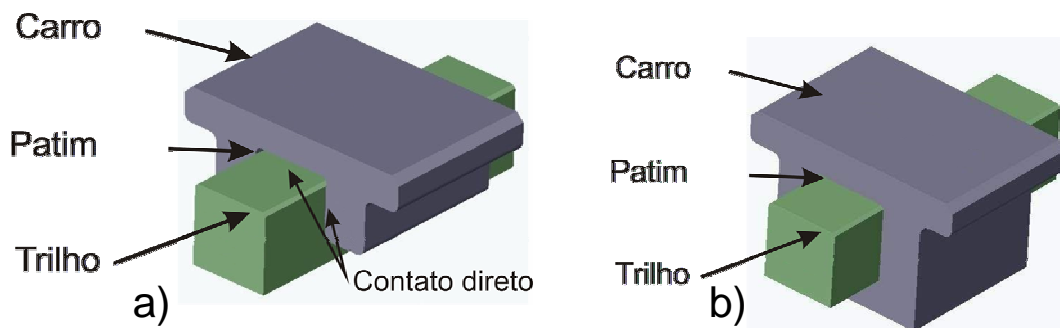


Figura 4 Exemplos de guias prismáticas: a) aberta; b) fechada.

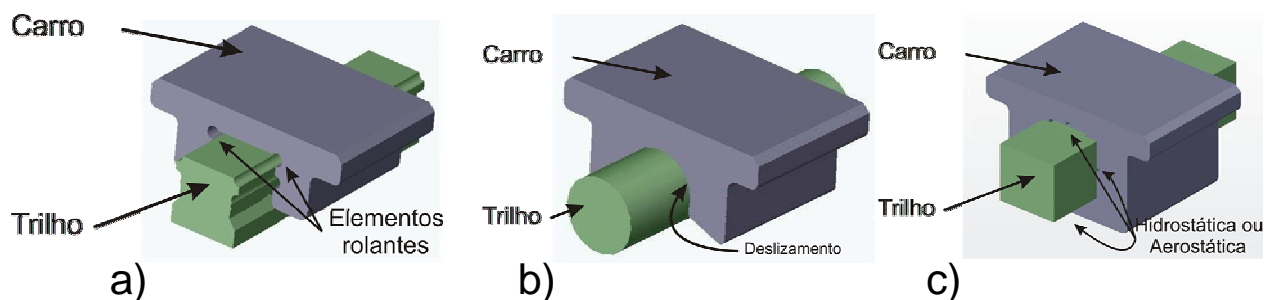


Figura 5 Exemplos de guias segundo o tipo de atrito: a) Elementos rolantes; b) Deslizamento; c) Hidrostática ou Aerostática.

Segundo Castro (1987) as principais características das guias são as seguintes:

- Velocidade de movimento: É a capacidade de suportar máximas velocidades
- Disposição de carga a suportar: Suportar cargas axiais ou tangenciais.
- Amortecimento: É a capacidade de absorver ou amortecer vibrações, não transmitindo as vibrações aos outros componentes do equipamento.
- Precisão de movimento: É a capacidade de atingir a velocidades diferentes a mesma posição desejada.
- Desgaste: É o efeito de se desgastar com o uso, produzido por atrito entre suas partes. Este parâmetro define a frequência com que deve-se realizar manutenção.
- Custo: É o valor produto.
- *Stick-slip*: É o efeito produzido pela diferença entre o coeficiente de atrito estático e o coeficiente de atrito dinâmico ou gradiente negativo de fricção em baixas velocidades. É preciso uma força maior para iniciar o deslocamento do casquilho no trilho, estes elementos deformam-se elasticamente armazenando energia, após começo do movimento a força de atrito diminui e a energia armazenada no casquilho/trilhoda produz um impulso e recuada do casquilho, o mesmo acontece na parada do movimento.

2.4.2. Acionamentos ou atuadores

Os acionamentos considerados para o projeto do EM-01/01 foram os servoacionamentos e acionamentos de passo, isto devido à resolução e dinâmica de movimento que têm que realizar. Os acionamentos são dispositivos que convertem energia elétrica em energia mecânica para geração de movimento. Consideram-se duas concepções de acionamentos elétricos para o desenvolvimento do EM-01/01.

- A. Acionamentos translativos (“lineares”)** Transformam energia elétrica para fornecer movimentos de translação.
- B. Acionamentos rotativos** Transformam energia elétrica para fornecer movimentos de rotação; precisam de sistemas mecânicos para transformar movimento de rotação em translação.

Acionamentos de passo

Os acionamentos de passo podem ser rotativos ou translativos, incrementais (discretos), que transformam pulsos digitais aplicados no *driver* em deslocamentos mecânicos. Seu deslocamento é proporcional ao número de pulsos, a velocidade é proporcional à frequência dos pulsos e o sentido de deslocamento é função da sequência de pulsos. Na tabela 2 são apresentadas vantagens e desvantagens dos acionamentos de passo.

Existem três tipos de motores de passo:

- A ímãs permanentes.
- De relutância variável.
- Híbridos (homopolares).

Tabela 2 Caracterização dos acionamentos de passo.

Vantagens	Desvantagens
Solução de custo mais econômico (em malha aberta)	Erro de posicionamento possível (em malha aberta).
Apresenta torque de frenagem desenergizado (exceto relutância variável).	Ruído e ressonância em baixas velocidades.
Pode operar em ambientes explosivos.	Muita vibração em baixas velocidades.
Permite posicionar em malha aberta.	
O erro de passo não é acumulativo ao longo de uma rotação completa.	
Baixa manutenção, não usa escovas/comutador.	
Alto torque em baixas velocidades.	

Inclui-se aqui os acionamentos de passo pois são utilizados em certos equipamentos uni-funcionais em desenvolvimentos experimentais.

Servoacionamentos

Os servoacionamentos são constituídos de um *servodriver* e um servomotor. Podem ser translativos ou rotativos, figura 6 e 7 respectivamente. Segundo a forma construtiva, estes podem ser de alta dinâmica, p/ex, para aplicação em posicionadores. Para operação de posicionamento, controle de torque ou de

velocidade tem que ser utilizados em malha fechada. Inicialmente, na tabela 3, apresenta-se um quadro comparativo das vantagens e desvantagens dos servoacionamentos translativos.



Figura 6 Servomotor translativo.



Figura 7 Servomotor rotativo.

Tabela 3 Comparação das características dos servoacionamentos translativos.

Vantagens	Desvantagens
Produzem deslocamento translativo (linear) diretamente.	Custo mais elevado.
	Não permite uso de transmissões.
Operação de funcionamento livre de vibrações.	
Baixa/nenhuma manutenção	
Alto torque em baixas velocidades.	

Os servoacionamentos rotativos são os de maior uso em sistemas posicionadores, porque atende às necessidades e posicionamento, torque e suavidade de movimento em alta dinâmica e apresenta solução de menor custo.

Existe diversidade de servomotores quanto ao princípio de funcionamento e formas construtivas. São divididos em três categorias.

- Servomotor CC, com escovas (comutação mecânica).
- Servomotor CC *brushless* (comutação eletrônica).
- Servomotor CA.

O Servomotor CC com escovas (comutação mecânica) consta de um estator com os ímãs permanentes, de um rotor com o enrolamento de armadura e de um comutador com as escovas, que levam a corrente às bobinas do enrolamento. Na tabela 4 são apresentadas as vantagens e desvantagens dos servomotores CC com escovas.

Tabela 4 Caracterização dos servomotores CC com escova.

Vantagens	Desvantagens
Alta dinâmica.	Manutenção das escovas
Menor custo, comparado com o servomotor <i>brushless</i> .	Ambiente de trabalho limitado (não é a prova de explosão).
Rotação suave em baixas velocidades (versões especiais).	Limitações do comutador, desgaste.
<i>Servodriver</i> de baixo custo, comparado com o servomotor <i>brushless</i> .	Gera ruído elétrico e acústico devido às escovas
Alto torque de pico (ate oito vezes).	Excesso de corrente pode causar superaquecimento e até desmagnetização parcial dos ímãs motor.
Grande variedade de formas construtivas.	

O servomotor CC *brushless* e servomotor CA, são concebidos para ter um alto desempenho. Este motor compõe-se de um estator com os enrolamentos dispostos em ranhuras, de um rotor com os ímãs permanentes e de tradutores de efeito *HALL* que detectam a posição do rotor. Sua comutação é feita eletronicamente por meio de chaves semicondutoras (transistor). Os servomotores CC *brushless* podem ser energizados com tensões/correntes com formas de onda trapezoidais ou senoidais. A energização de um servomotor é feita por um *servodriver*. Quando a alimentação é senoidal o servoacionamento é às vezes denominado impropriamente servomotor *brushless* CA ou também servomotor síncrono (Martin, 2005). Na tabela 5 são apresentadas as vantagens e desvantagens dos servomotores *brushless*.

Tabela 5 Caracterização dos Servomotores *brushless*.

Vantagens	Desvantagens
Alta dinâmica.	Custo mais alto devido ao uso de ímãs especiais.
Rotação suave em baixas velocidades (versões especiais).	
Praticamente nenhuma manutenção	<i>Servodriver</i> para servomotor <i>brushless</i> de custo mais elevado.
Melhor desempenho térmico	
Possibilidade de velocidades muito mais altas	
Nenhuma restrição quanto ao ambiente de trabalho.	
Alto torque de pico (ate oito vezes).	
Algumas formas construtivas de alta dinâmica.	

Burgoa (1996) aprofunda o estudo dos tipos de motores.

Pela comparação das tabelas 2, 4 e 5 descarta-se o uso de acionamentos de passo, devido principalmente a pior dinâmica e vibrações.

Pela comparação das tabelas 3, 4 e 5 descarta-se o uso de servoacionamentos translativos, devido principalmente pelo custo.

2.4.3. Transmissão mecânica

Os elementos mecânicos de transmissão podem ser classificados em (Martin, 1996): transmissões transformadoras (p/ex, redutores), que alteram apenas os valores das grandezas mecânicas associadas (torque, velocidade, inércias) e transmissões conversoras (p/ex, fuso de esferas), que alteram o tipo de energia mecânica associada (rotativa, translativa).

A. Redutores

Os servoacionamentos usados em posicionamento devem oferecer alto torque em baixas velocidades para ser possível obter altas acelerações. Além disso, os servoacionamentos de posicionamento devem permitir movimento suave (sem vibração) em baixas velocidades.

Mas servomotor de alta dinâmica significa baixa inércia do rotor o que resulta em torques menores, além disso, servoacionamentos apresentam comportamento

não-linear especialmente em baixas velocidades, causando dificuldades no posicionamento.

Por este motivo podem ser utilizados redutores, que são elementos mecânicos dispostos entre o eixo do motor e o sistema de transmissão mecânica (Lichtblau, 1989). Sua função é permitir que o motor opere em faixas de velocidade maior para evitar operação na faixa de baixas velocidades onde se caracterizam as não-linearidades. Além disso, como redutores há um aumento de torque na mesma proporção de sua relação de transmissão, o que permite que se utilize um servomotor de menor torque e com isso, de menor inércia e, conseqüentemente, melhor capacidade de aceleração. Na tabela 6 apresenta-se um quadro comparativo de vantagens e desvantagens dos redutores.

Tabela 6 Características dos redutores.

Vantagens	Desvantagens
Permite que o motor opere na faixa ótima de velocidades.	Redução de velocidade, que se for excessiva, deixa lento o sistema.
Permite utilizar um motor com torque menor, logo, com dinâmica melhor.	Acrescenta mais um fator de montagem.
	Aumento de atrito no sistema.
Minimiza a inércia da carga refletida no eixo do motor.	Apresenta folgas que prejudicam o posicionamento (exceto reduções especiais).

B. Transmissões conversoras

Os acionamentos rotativos requerem um sistema de conversão de movimento rotativo, obtido no servomotor, para um movimento translativo do cabeçote intercambiável. Transmissões conversoras de movimento para aplicação em posicionamento podem ser: Conjunto de polias e correia sincronizadora, fuso de esferas recirculantes, cremalheira de precisão, entre outras.

Os elementos de transmissão mecânica têm que apresentar os seguintes requisitos:

- Elevada rigidez mecânica.
- Baixos momentos de inércia e de massa.
- Robustez.
- Folgas mínimas.
- Absorção de cargas e vibrações.

Os elementos mecânicos que atendem aos requisitos listados, e que são os mais adequados para uso no EM-01/01, são os fusos de esferas e o conjunto polia e correia sincronizadora.

C. Fuso de esferas

O Fuso de Esferas é uma transmissão conversora utilizadas em posicionamento de precisão, que converte movimento de rotação em movimento de translação (figura 8) com alta precisão e dinâmica. As Esferas “rolam” por pistas de alta dureza e retornam ao ponto inicial, por meio de sistemas de recirculação (externos ou internos), que garantem operações silenciosas, sem folgas e mínimo atrito. Na tabela 7 são apresentadas as vantagens e desvantagens dos fusos de esferas.



Figura 8 Fuso de esferas.

Tabela 7 Caracterização dos fusos de esferas.

Vantagens	Desvantagens
Pequeno desgaste.	Quanto maior o comprimento, mais robusto.
Ausência de folgas.	
Media/elevada rigidez.	Custo elevado.
Pouca manutenção.	Capacidade de carga limitada.
Movimento suave.	Precisa lubrificação.
Não produz efeito <i>Stick-slip</i> .	Alta inércia.
Comprimentos até 6 metros.	Pode-se danificar por sujeira
Baixo atrito, por ter pouca área de contato, nos casquilhos.	Resolução de movimento translativo depende do passo do fuso.
Transmissão de energia mecânica pode chegar até 90 a 95 %.	

D. Conjunto polia e Correia sincronizadora

O conjunto polia e correia sincronizadora pode ser usado como transmissão conversora, utilizadas em posicionamento. Converte movimento de rotação em movimento de translação (figura 9). O sistema inclui duas polias dentadas uma em cada extremo (eixo) no mesmo plano e uma correia dentada que envolve as duas polias. O movimento rotativo aplicado à polia motora é convertido em movimento translativo da correia, por meio dos dentes da polia e correia que encaixam entre si. As correias são feitas de material flexível, como borrachas, plásticos, etc. reforçadas com vários materiais, p/ex, cabos de aço, fibra de vidro, carbono, nylon, etc. limitando a elasticidade da correia. Na tabela 8 são apresentadas as vantagens e desvantagens do conjunto polia e correia sincronizadora para uso em posicionamento.

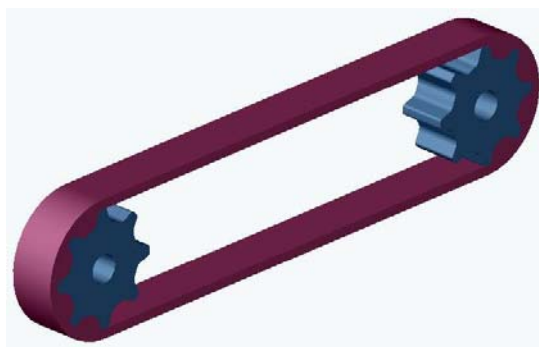


Figura 9 Conjunto polia e correia.

Tabela 8 Caracterização do conjunto polia e correia sincronizadora.

Vantagens	Desvantagens
Baixo custo.	Montagem requer certa experiência.
Baixa inércia, principalmente devido às polias.	Não pode ser reparada, só trocada.
Ausência de folgas.	Suporta pequenas e medianas cargas.
Aplicável para comprimentos maiores.	Tensão da correia difícil de medir.
Pequeno desgaste.	Apresenta vibrações e ressonância.
Atinge resoluções médias.	Apresenta folga elástica.
Altas velocidades.	Requer estar em uso contínuo, senão ela perde flexibilidade.
Não necessita lubrificação, pouca manutenção.	
Transmissão de energia mecânica pode chegar até 98 %.	

2.4.4. Sistemas de medição para posicionadores

A principal característica em um sistema de medição para posicionadores, além da precisão requerida, é sua habilidade de funcionamento em tempo real. Um sistema de medição com esta característica é capaz de fornecer o valor medido com suficiente rapidez. Um padrão na escolha de sistemas amostrados é conseguir que a mínima frequência de medição corresponde ao dobro da frequência natural do sistema; entretanto para obter-se medições de melhor qualidade é recomendado amostrar com frequências dez vezes superiores à frequência natural.

Segundo o local onde é realizada a medição de deslocamento em posicionadores, os sistemas de medição podem medir de forma direta ou indireta. Na medição direta é obtido o valor da grandeza física diretamente no elemento a ser medido; já na medição indireta, é obtido o valor da grandeza física de interesse indiretamente através de outra grandeza a ela relacionada.

Segue-se uma descrição resumida de alguns tipos de transdutores para sistemas de medição para posicionadores.

Transdutores

Transdutores são dispositivos com a finalidade de detectar alguma grandeza e produzir um sinal correspondente em resposta a esta grandeza. Os transdutores compõem-se de um sensor e um conversor de sinais. O sinal é convertido em outra grandeza física, geralmente em um sinal elétrico de baixa amplitude que ainda tem que ser condicionado (amplificar, retificar, filtrar, etc.) para que se estabeleça a comunicação com o aparelho que irá receber a informação.

Em posicionadores existem dois tipos de grandezas a ser consideradas: variáveis contínuas (posição, velocidade, torque etc.) e variáveis pontuais (posição “zero-máquina”, posição de limite físico de cada um dos eixos).

Transdutores de posição convertem posição em sinal elétrico correspondente. As grandezas físicas diferenciais como velocidade e aceleração podem ser obtidas por derivação da grandeza posição, considerando que este processo é muito afetado por ruído.

A tabela 9 apresenta-se uma classificação dos transdutores usados em posicionadores. Salieta-se em sombreado os transdutores escolhidos para o projeto. No capítulo 1, item 1.2 explica-se o porque da escolha antecipada de alguns dos componentes do EM-01/01.

Tabela 9 Classificação de transdutores usados em posicionadores.

Posição	Transdutores	Analógicos/Digitais	Absolutos/Incrementais	Rotativo/Translativos
	<i>Encoders</i>	Digitais	Absolutos/ Incrementais	Rotativo
	<i>Resolver</i>	Analógicos/Digitais	Incrementais	Rotativo
	Régua óptica	Digitais	Absolutos/ Incrementais	Translativos
	LVDT	Analógicos	Absolutos	Translativos
	Potenciômetros	Analógicos	Absolutos	Rotativo
Presença	Óptico (transmissão ou reflexão)			
	Fins-de-curso mecânico			
	Indutivo			
	Capacitivo			
	Ultra-som			
	Efeito <i>Hall</i>			
	Célula <i>Reed</i>			

Exemplos de transdutores utilizados em posicionadores segundo a forma de medição:

- *Encoders* (rotativo) e *resolvers* podem medir uma grandeza rotativa de forma direta e uma grandeza translativa de forma indireta.
- Régua óptica e LVDTs podem medir uma grandeza translativa em forma direta.

Transdutores de posição

Na tabela 10 apresenta-se uma comparação resumida de vantagens e desvantagens dos transdutores de posição mais usados na atualidade em posicionadores (Everet, 2005).

Tabela 10 Comparação dos tradutores de posição mais usados na atualidade.

<i>Encoders ópticos</i>	
vantagens	desvantagens
<p>Os <i>encoders</i> incrementais permitem maior resolução do que os <i>encoders</i> absolutos. (pode se elevar sua resolução através de métodos de quadratura, o que também permite obter informação sobre o sentido de rotação).</p> <p>A resolução é suficiente para aplicações em sistemas de posicionamento convencionais. Existem também <i>encoders</i> de altíssima resolução porem de custo igualmente alto.</p> <p>Resposta dinâmica dos <i>encoders</i> incrementais também é suficientemente boa para aplicações em posicionadores convencionais.</p> <p>Nos <i>encoders</i> absolutos cada posição corresponde a um valor codificado determinado.</p> <p>Falta da energia; nos <i>encoders</i> absolutos não acarreta perda da informação de posição.</p> <p>Sem contatos mecânicos.</p> <p>Pouca/nenhum manutenção.</p>	<p>Falta de energia em <i>encoders</i> incrementais faz perder a informação da posição de referência.</p> <p>Frágil (<i>encoder</i> tipo sem carcaça, “<i>kit encoders</i>”).</p> <p><i>Encoders</i> incrementais o erro é acumulável.</p> <p>Sensível a luz ambiental (<i>encoder</i> tipo sem carcaça, “<i>kit encoders</i>”).</p> <p>Sensível a golpes e vibrações.</p> <p>Sensível a ambientes poluídos (<i>encoder</i> tipo sem carcaça, “<i>kit encoders</i>”).</p> <p>Mais caros os <i>encoders</i> absolutos que os <i>encoders</i> incrementais, para uma mesma resolução.</p> <p>Para <i>encoders</i> incrementais a eletrônica de condicionamento de sinais é mais complexa do que para os absolutos, reduzindo sua rapidez de resposta.</p> <p>Montagem e ajuste requer certa experiência (<i>encoder</i> tipo sem carcaça, “<i>kit encoders</i>”).</p>
<i>Resolvers</i>	
vantagens	desvantagens
<p>Maior robustez às vibrações e temperatura.</p> <p>Pode operar em ambientes poluídos.</p> <p>A resolução é suficiente para aplicações em sistemas de posicionamento convencionais.</p> <p>Resposta dinâmica dos <i>resolvers</i> também é suficientemente boa para aplicações em posicionadores convencionais.</p> <p>Pouca/nenhum manutenção.</p>	<p>Princípio de funcionamento é baseado em interação magnética, que pode ser afetada por campos magnéticos espúrios.</p> <p>Para <i>resolver</i> a eletrônica de condicionamento de sinais é mais complexa do que <i>encoders</i> incrementais, comprometendo sua rapidez de resposta.</p>

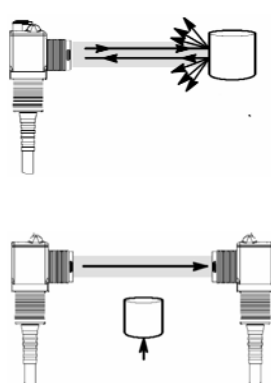
Régua óptica	
vantagens	desvantagens
Ver informações acima, sobre <i>encoders</i> . Medição direta de grandezas translativas.	Custo maior dos <i>encoders</i> e <i>resolvers</i> . Montagem requer certa experiência. Frágil.

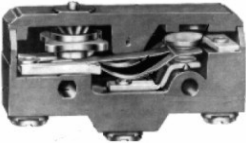
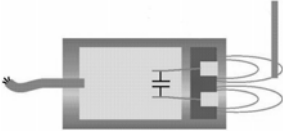
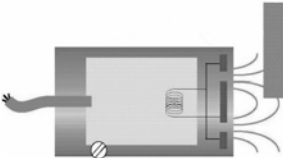

Transdutores de presença/proximidade

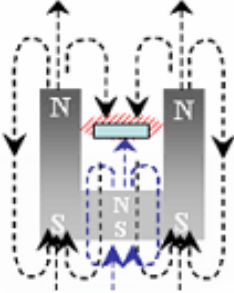
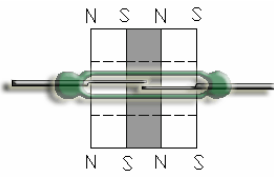
São transdutores usados freqüentemente como auxiliares dos transdutores de posição. Permitem somente dois níveis (digitais) de saída; alto ou baixo (verdadeiro ou falso). Em posicionadores, p/ex, sua função é indicar os limites de deslocamento dos eixos ou localizar a posição “zero-máquina” em cada eixo. Detectam a presença/proximidade de um objeto instalado em determinada posição (p/ex, nas posições-limites de um eixo, etc), podendo realizar esta detecção com ou sem contato físico (mecânico).

Na tabela 11 apresenta-se uma descrição resumida dos tipos de transdutores de presença/proximidade listados na tabela 9. Além das suas vantagens e desvantagens.

Tabela 11 Descrição simplificada dos tipos de transdutores de presença/proximidade mais usados na atualidade.

TIPO	Explicação	Vantagens/Desvantagens
Ópticos 	<p>São constituídos de uma fonte de luz e de sensor/receptor de luz (luz geralmente infravermelho ou ultravioleta). Existem em duas versões: por reflexão ou por transmissão/bloqueio de luz.</p> <p>O transdutor funciona como uma chave onde uma alteração do feixe de luz é o resultado da presença ou ausência do dispositivo.</p>	<p>Vantagens: simples de instalar, longa vida útil, custo baixo, operação confiável, boa sensibilidade, não é afetado seu funcionamento por interferência magnética, bom comportamento dinâmico e podendo detectar diferentes materiais metálicos e não metálicos.</p> <p>Desvantagens: sua sensibilidade depende do comprimento de onda da luz utilizada e das características de bloqueio e/ou refletividade da luz no objeto a detectar.</p>

TIPO	Explicação	Vantagens/Desvantagens
Fins-de-curso mecânico 	<p>Um contato galvânico é aberto e/ou fechado por um dispositivo mecânico (pino, alavanca, etc) quando entra em contacto com o objeto a detectar. Uma das aplicações destes transdutores é na proteção final quando ocorre falha no sistema de controle.</p>	<p>Vantagens: simples de montar e ajustar, custo baixo, operação confiável, boa sensibilidade.</p> <p>Desvantagens: desgaste; necessita de um tempo morto entre subseqüentes ativações; a atuação exige esforço mecânico; contato mecânico produz vibrações no sinal elétrico.</p>
Indutivos 	<p>Um campo eletromagnético à frente é perturbado quando penetrado por um objeto ferromagnético. São induzidas no objeto correntes de fuga que causam perdas na energia armazenada no campo na sinal de saída.</p>	<p>Vantagens: fácil instalação, robusto para diferentes ambientes de trabalho, longa vida útil, boa resolução na medição e baixo custo. Boa rapidez de resposta.</p> <p>Desvantagens: as distâncias de detecção são pequenas e o comportamento depende do tipo de material a ser detectado; seu funcionamento pode ser afetado por campos magnéticos espúrios.</p>
Capacitivos 	<p>Quando um objeto metálico ou não metálico se aproxima da face ativa, varia uma capacitância, o que influi sobre seu circuito condicionador do sinal de saída.</p>	<p>Vantagens: detectar objetos não metálicos, longa vida útil, boa resolução na medição; boa rapidez de resposta.</p> <p>Desvantagens: sensível à umidade do ambiente, pode falhar se o objeto tem igual ou semelhante constante dielétrica do ar, complexa eletrônica interna o que acarreta custo mais elevado.</p>
Ultra-som 	<p>Transdutor composto de emissor e receptor acústico (microfone) sensível na faixa supra-audível (ca. 40 a 200 kHz)</p> <p>Operação, o objeto a ser detectado interpõe-se entre o emissor e receptor.</p>	<p>Vantagens: simples de instalar; capaz de detectar praticamente qualquer tipo de material.</p> <p>Desvantagens: baixas resoluções, têm que ser ajustado para cada aplicação.</p>

TIPO	Explicação	Vantagens/Desvantagens
<p>Efeito Hall</p> 	<p>Detector de intensidade e sentido de campo magnético.</p> <p>Aplicações: quando pré-polarizado por um ímã permanente permite ser utilizado como detector de material ferromagnético, semelhante aos transdutores indutivos.</p>	<p>Vantagens: robusto a ambientes poluídos e umidade excessiva, longa vida, boa resolução e rapidez de resposta; Mede campo continuou como campo magnético.</p> <p>Desvantagens: pequenas distâncias de detecção; comportamento depende do tipo de material a ser detectado; funcionamento pode ser afetado por campos magnéticos espúrios; complexa eletrônica de condicionamento de sinais.</p>
<p>Célula Reed</p> 	<p>Os transdutores/comutador <i>reed</i> são constituídos de um comutador (célula) <i>reed</i> e um atuador magnético (p/ex, um ímã). Quando o comutador <i>reed</i> é submetido a influencia do atuador magnético, magnetiza-se as lâminas do <i>reed</i> que mudam o estado do comutador (abrindo ou fechando).</p> <p>Geralmente o atuador vem fixado ao objeto a ser detectado.</p>	<p>Vantagens: fácil instalação, robustês a ambientes poluídos e umidade excessiva, longa vida e baixo custo.</p> <p>Desvantagens: distâncias de detecção são pequenas; seu funcionamento pode ser afetado por campos magnéticos espúrios; baixa rapidez de resposta.</p>

2.4.5. Dispositivos de comando/controle

Para se realizar o comando de um equipamento posicionador pode se utilizar o conceito da tecnologia CNC (*Computer Numerical Control*). Essa tecnologia pode ser utilizada em aplicações CNC ditas “não-convencionais”, p/ex., numa impressora, cortadora, etc.

Existem diversos tipos de soluções, para implementação de um sistema CNC: equipamento CNC de arquitetura fechada (*black box*) que pode ser na forma de gabinete ou equipamento OEM (*open end manufacture*); soluções CNC de arquitetura aberta, p/ex. placa de controle de movimento (MCB) + funções básicas de programa; CLP (*Programmable Logic Controller*); *hardware* específicos usando DSP (*Digital Signal Processor*), PIC (*Programmable Interrupt Controller*); etc.

Os equipamentos CNC de arquitetura “fechada” já programada traz funções e sub-rotinas que controlam o equipamento, usadas da mesma maneira que os equipamentos CNC (*black box*) que exigem apenas introdução dos parâmetros, não sendo permitido criar, modificar ou customizar funções.

As soluções CNC de arquitetura aberta podem ser subdivididas em:

- 1) placas de controle de movimento (MCB) apresentam-se como *hardware* pronto (comercialmente) para aplicações em controle de movimento CNC, que permite a definição do sistema CNC (inclusive de alta dinâmica) através da configuração das funções básicas próprias já disponibilizadas permitindo com isso obter funções mais complexas (customizadas) da aplicação CNC (subrotinas).
- 2) CLP comercial, que é um *hardware* robusto pronto para aplicações. Mas apresenta poucas das funções específicas prontas para aplicação em controle de movimento CNC, exigindo programação completa das mesmas. Além disso, os programas de CLP executam ciclos de varredura sequencialmente tornando lento o processamento, impróprio para sistemas de alta dinâmica (tempo real), p/ex. interpolação, geração de trajetórias.
- 3) *hardware* específico, baseia-se em aplicação de microprocessadores (PIC, DSP, etc.) para desenvolvimento próprio, completo, de placa tipo MCB. O projetista tem que suprir também todo o *software* (funções básicas, sub-rotinas, etc.). Esta solução oferece total flexibilidade sendo totalmente específica para aplicação sem apresentar funções inúteis, mas exige muito esforço de desenvolvimento de concretização, desde o projeto até atingir um *hardware* sem falha.

A arquitetura do controlador de movimento das soluções CNC de arquitetura aberta apresenta duas concepções.

A primeira para MCB que é apresentada na figura 10, onde se encontra inserido na MCB um DSP (*Digital Signal Processor*), contendo um processador exclusivo para o controle supervisor, gerenciador de trajetórias, laço de controle e para I/O digitais e analógicas; tudo isto permite, uma vez inserida a informação de trajetórias a comandar pelo MCB, que esta se comunique e processe tudo na mesma placa, enviando informação de saída para o *servodriver* e recebendo informação de retro alimentação dos diversos sensores.

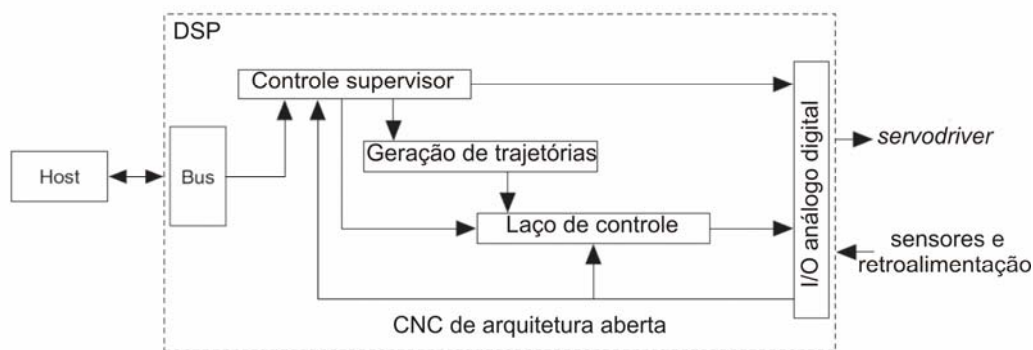


Figura 10 Arquitetura funcional das CNC de arquitetura aberta para MCB.

A segunda concepção da arquitetura do controlador de movimento das soluções CNC de arquitetura aberta para CLP e *hardware* específico é apresentada na figura 11, onde o processamento do controle supervisor, gerenciador de trajetórias, laço de controle e controle do *encoder* é feito a nível de *software* num processador não exclusivo; isto permite que este *software* processe a informação se comunicando com o equipamento (EM-01-01) por meio de entradas/saídas digitais e analógicas, sendo estas as que enviam informação aos servodriver e recebam informação da retro alimentação e diversos sensores.

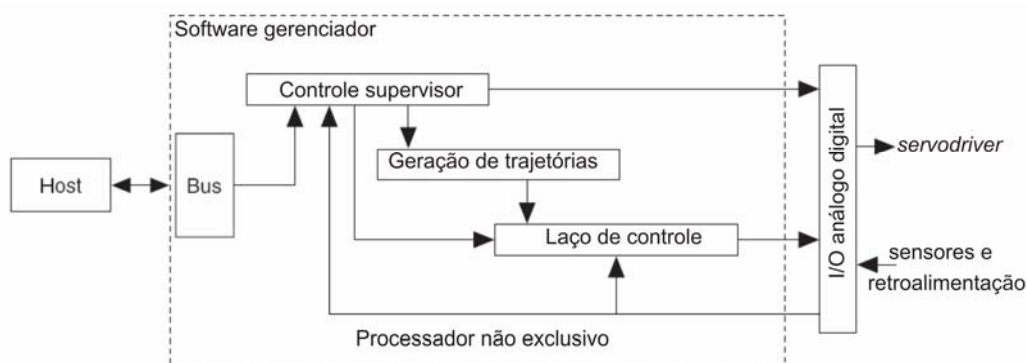


Figura 11 Arquitetura funcional das CNC de arquitetura aberta para CLP comercial e hardware robusto.

Onde os blocos das figuras 10 e 11 representam:

- Host: é a interface homem-máquina, a software gerenciador do equipamento.
- Controle supervisor: realiza todos os comandos seqüenciais e coordenação requerida para realizar operações específica. Esta subdividida em:

Inicialização do sistema.

Manipulação de eventos.

Detecção de falhas.

- Geração de trajetórias: fornece o planejamento do caminho baseado no perfil de velocidade de movimento especificado pelo usuário (PVM).
 - Interpolação: determinar o seguimento entre dois pontos, dependente se o seguimento é programado como linha ou arco.
- Laço de controle: realiza o controle do laço de movimento, simultaneamente em posição ou velocidade, mantendo trajetórias em um ou mais eixos, definindo a estabilidade do sistema.
- I/O analógico ou digital: envia e recebe sinais do resto do sistema de controle. Os sinais de saída analógica geralmente são usados como sinal de comando do servodriver, e os sinais digitais são usados para sinal em quadratura do encoder.
- Servodriver: é o amplificador que recebe os sinais das CNC de arquitetura aberta e impõe a corrente para que o servomotor produza torque proporcional a esta corrente.
- Servomotor, retro-alimentação: é a resposta do servomotor ao comando do driver e a retro-alimentação do laço de comando.

A escolha da plataforma de CNC vai depender da complexidade das funções requeridas no sistema, do grau de flexibilidade proporcionado pela programação do dispositivo, tratamento do sinal realizado pelo mesmo, capacidade matemática, interface homem-máquina, versatilidade que este pode ter em geral e em grande medida de seu custo.

2.5. Dispositivos específicos no EM-01/01

Nos item 2.5.1 e 2.5.2 focalizam-se a pesquisa nos dois dispositivos principais do EM-01/01, o primeiro é o cabeçote onde estão as ferramentas ativas, e o segundo é a mesa, onde os materiais a trabalhar são depositados. As funções que foram consideradas no presente desenvolvimento são:

- Corte/gravação a *LASER*.
- Corte por estilete.
- Riscado de vidro.
- Plotagem.
- Impressão digital.

2.5.1. Cabeçotes

Os equipamentos de aplicação uni-funcional existem há tempo, tendo logrando um ótimo desenvolvimento, chegando ao nível de se padronizar as ferramentas ativas. No mercado mundial podem ser encontrados muitos fornecedores de ferramentas ativas semelhantes, diferenciadas, p/ex, somente pelo tipo de engate. De fato a ferramenta ativa para impressão digital é a que apresenta mais variedades de soluções, Burgoa (2004).

Ferramentas ativas para função impressão digital

Segundo Burgoa (2004), dentre a grande variedade de soluções, os cabeçotes impressores de tipo de jato de tinta trabalham ejetando gotículas de tinta sobre o substrato, obtendo uma boa qualidade de impressão, próxima à de impressoras a LASER. Os cabeçotes de jato de tinta podem ser de 2 tipos: "jato de bolha" (*bubble jet*) é o tipo mais utilizado pelos fabricantes, como HP modernas e Canon; ou piezoelétrica (tecnologia mecânica), como é o caso das impressoras Epson e HP antigas.

A tecnologia *Bubble Jet* foi desenvolvida pela Canon, consiste em aquecer a tinta através de uma pequena resistência, formando pequenas bolhas de ar, que fazem a tinta espirrar com violência sobre o substrato. Uma desvantagem desta tecnologia é que, devido ao aquecimento, os elementos de impressão costumam se desgastar rapidamente, perdendo precisão, além de falhar devido sobre-aquecimento das resistências. Por outro lado, os preços deste tipo de cartucho de impressão são mais altos que os de cartuchos piezoelétricos.

A tecnologia piezoelétrica, que foi desenvolvida pela Epson, consiste num elemento de impressão, que funciona como uma bomba microscópica, borrifando a tinta sobre o substrato. O elemento de impressão consiste de uma pequena canalização com um cristal piezoelétrico próximo da ponta. Quando excitado eletrostaticamente o cristal vibra, fazendo com que gotículas de tinta sejam expelidas para fora do cartucho impressor. Os "cartuchos" de impressão piezoelétricos apresentam maior durabilidade (piezoeletricos são mais robustos). Como a eletrônica não está integrada no "cartucho", seu custo é menor. Por outro lado, este tipo de cartucho também é susceptível a problemas, p/ex, por entupimento.

As impressoras à jato de tinta usam tintas a base d'água, de secagem rápida. Utilizam cartuchos de diferentes cores, basicamente de 4 cores (ciano, magenta, amarelo e preto). Essa combinação de cores (chamada *CMYK*) permite a impressão de imagens com quase a mesma qualidade de laboratório fotográfico.

As empresas de CV, pelo tipo de serviço que necessitam realizar, precisam de resoluções na faixa dos 360 dpi (*dots per inch*, é uma medida de densidade relacionada à composição de imagens, que expressa o número de pontos individuais que existem em uma polegada linear na superfície onde a imagem é apresentada).

Na função impressora o módulo impressor, constituído de 4 cartuchos de tinta, não tem contato entre este e o substrato (papel, papelão, etc) tendo que existir uma distância correta para uma boa impressão da gota de tinta.

O comando dos elementos impressores dos cartuchos escolhidos (piezoelétricos) necessita de 16 sinais digitais por cor (cartucho), totalizando 64 sinais digitais.

Ferramenta ativa para função de corte/gravação LASER

O LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*), é um dispositivo conversor de energia, que converte usualmente energia elétrica em energia eletromagnética em forma de luz, visível ou não. Uma parte da energia elétrica aplicada ao LASER é convertida em luz coerente, enquanto o restante usualmente é convertido em calor.

No mercado de corte/gravação por LASER existem dois tipos de LASER: LASER tipo CO₂ (meio amplificador: gás dióxido de carbono; excitação por descargas elétricas) e os sistemas geradores de LASER Nd:YAG (meio amplificador: cristal sólido *Yttrium Aluminium Garnet*; excitação por impulsos de luz). A grande diferença entre eles é seu comprimento de onda que, para CO₂ é de 10,6 µm e para Nd:YAG é de 1,06 µm. Isto faz com que materiais orgânicos, com mínimo coeficiente de absorção de energia, possam ser cortados ou gravados por LASER CO₂ enquanto que materiais metálicos, que tem alto coeficiente de absorção, possam ser processados por LASER Nd:YAG. Outra das características é a forma de conduzir o feixe de luz: No LASER CO₂ tem que ser feito por alinhamento de espelhos, e no LASER Nd:YAG pode ser conduzida por fibra óptica. O LASER é monocromático (comprimento de onda único), coerente (todas as ondas eletromagnéticas coincidem em fase) e de direção determinada (dispersão de feixe não é significativa).

As empresas de CV, pelos serviços que necessitam realizar, precisam cortar materiais não metálicos, sendo o LASER CO₂ a correta escolha.

Na função LASER do EM-01/01 não existe contato entre o bico e o material; seu feixe tem que ser focalizado com um diâmetro específico e quem realiza isto é a lente localizada no bico do cabeçote LASER. Dentro deste bico tem que circular ar sob pressão para eliminar restos de material e vapor produzido no processo. Para o controle do cabeçote LASER (p/ex, *Firestar* serie t), é preciso 1 sinal PWM e 3 sinais digitais:

- PWM (*Pulse Width Modulated*): Comanda a sinal de controle do LASER.
- 1º digital: Sinal para ligar LASER.
- 2º digital: Abertura do obturador LASER.
- 3º digital: Sinal para desligar LASER.

Comercialmente a potência do LASER CO₂ para aplicações em CV varia entre 10W e 400W de potência, todos seus acessórios são normalizados, mas disponíveis de diferentes fabricantes.

Ferramenta ativa para função riscagem do vidro

Existem dois tipos de processo para corte de vidro: as cortadoras por disco e as cortadoras por diamante (riscadora). As cortadoras por disco geram muita vibração além de exigir uma estrutura mais rígida e movimento controlado nos três eixos (XYZ). Por outro lado os riscadores exigem forças somente para produzir sulcos no vidro onde este se debilita. Depois de riscar o vidro, tem que se produzir a separação ou destacamento por um barramento, para o que uma força de flexão é aplicada ao vidro por baixo da riscagem (de acordo com a linha de corte), podendo ser acionada manual ou automaticamente. Durante a riscagem é necessária lubrificação no contato entre o diamante e o vidro, sem o que, o corte apresenta-se estilhaçado/esbranquiçado dificultando ainda seu destacamento, além de mau acabamento.

Na riscagem de vidro existe contato físico e portanto, atrito entre a ferramenta ativa com ponta de diamante e a peça (vidro). Para iniciar o processo de riscagem de vidro, é necessário de 1 sinal de ativação da ferramenta, para esta descer/subir, e começar/parar a riscagem, usando-se o mesmo sinal para comandar a lubrificação.

Ferramenta ativa para função corte por estilete

Nesta função, no mesmo suporte de ferramenta, o cabeçote pode alojar diversos tipos de estiletes de acordo com os diferentes tipos de materiais. O estilete gira livremente em seu eixo orientando-se de acordo com a trajetória de movimento. Existem dois métodos de corte por estilete em materiais de CV, um é produzir o corte transpassando o material, e o outro é cortar uma das lâminas do material, deixando a outra íntegra. Para evitar que a superfície da mesa do equipamento seja danificada pela ponta do estilete, a calibração fina da altura desta ferramenta é feita (numa das bordas da mesa) de modo a ajustar (de forma manual) corretamente a profundidade de corte.

A ferramenta ativa do corte por estilete, interage com o material a ser cortado, exigindo aplicação de força. Para acionamento da ferramenta no cabeçote é necessário 1 sinal de ativação, quando o cabeçote está posicionado o estilete desce para começar a cortar e sobe quando termina.

Ferramenta ativa para função plotagem

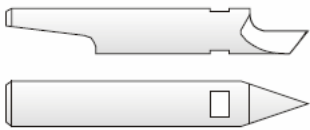

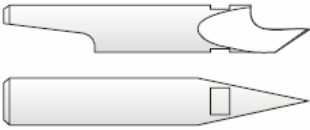
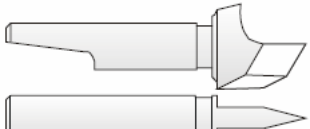



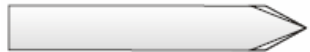


Apresenta um processo de movimentação contínua semelhante ao da riscagem de vidro, sendo que a caneta plotadora pode ser montada no mesmo tipo de cabeçote. A caneta de plotagem acompanha o movimento com o atrito mínimo necessário para o processo, não exigindo lubrificação como no caso da riscagem de vidro.





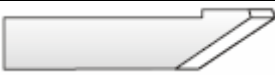
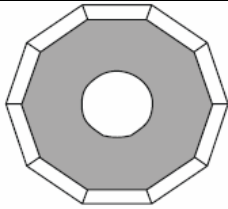
Para o controle desta ferramenta, é necessário 1 sinal de ativação. Quando o cabeçote está posicionado a caneta deve descer para iniciar a plotagem e subir quando terminar.

2.5.2. Tipos de ferramentas ativas e cabeçotes



Exceto para as ferramentas para impressão digital, para as outras quatro funções existe uma grande quantidade padronizada de tipos de ferramentas ativas; entretanto a forma de se engatar prevê apenas dois tipos construtivos, resultado da normalização destas ferramentas ativas no mercado. Para a função de riscagem de vidro e plotagem existem diferentes tipos de engates; especificamente para mesas de tipo pórtico X-Y, encontrou-se ferramentas com engates seguindo a padronização usada nos estiletes de corte e canetas. Uma lista de exemplos mais usuais é apresentada na tabela 12.

Tabela 12 Ferramentas, tipos de engates e cabeçotes normalizados.




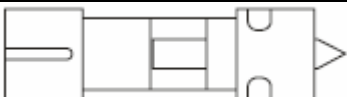

Modelo	Característica
ESTILETES	
	Estilete padrão de tipo cilíndrico, usado para corte de folhas adesivas comuns, folhas refletivas, cartões do estêncil e de materiais similares. A lâmina de corte é relativamente larga, ponta muito robusta.
	Estilete de tipo cilíndrico de dupla espada. Para cortes em ambos sentidos.
	Estilete de tipo cilíndrico usada para materiais macios e de maiores espessuras.
ESTILETES ESPECIAIS	
	Estilete de tipo cilíndrico para materiais de maior espessura e resistentes ao corte, como o cartão (papelão), poliéster, folhas reflexivas, etc.
	Estilete de tipo cilíndrico, robusto usado para cortes de poliéster, cartões de maiores espessuras, couro, etc.
	Estilete de tipo cilíndrico de dupla espada. Para cortes em ambos sentidos.
FACAS TIPO ESTILETES	
	Faca de tipo lâmina-espada muito robusta, usado para o corte fino de materiais duros, lâmina robusta e de grande espessura.
	Faca de tipo lâmina-espada, de lâmina de menor espessura.
	Faca de tipo lâmina, similar em características que a primeira faca de tipo estilete, mas com lâmina-espada em ambas as extremidades.
	Faca de tipo lâmina, de características similares que a segunda faca de tipo lâmina-espada, mas com lâmina-espada em ambas as extremidades.



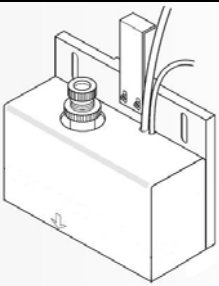
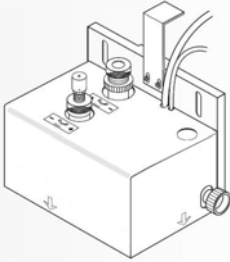
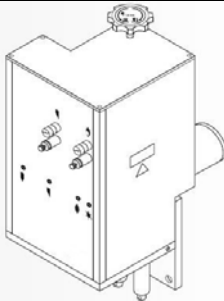
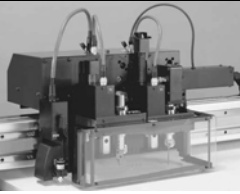

Modelo	Característica
	Faca de tipo lâmina, para corte de materiais fibrosos.
	Faca de tipo lâmina, para cortes de materiais de grande espessura, de tipo fibroso.
	Faca de tipo lâmina para cortes em materiais macios, em folhas, papel ondulado, materiais de menores dureza e espessura.
	Faca de tipo lâmina para corte de tecidos fibrosos, couros, papéis macios, etc. a alta velocidade.
	Faca de tipo lâmina para tecidos fibrosos, panos, têxteis, etc.
	Faca circular para têxteis, para corte em altas velocidades. Necessita de adaptador especial.

CANETAS PARA PLOTAGEM E RISCAGEM

	Caneta tipo cartucho; pode ser recarregada. Este formato de caneta existe também com ponta de diamante, para riscagem de vidro.
	Caneta de inserção direta, é descartável. Existem para diferentes cores.

TIPOS DE ENGATES

	Engate para estilete ou caneta de inserção direta.
	Engate para estilete ou caneta tipo cartucho.
	Engate para estilete ou caneta tipo cartucho com mola inserta no engate.
	Engate para facas de tipo cilíndrico; fica retida por imãs, contidos na parte superior do engate.
	Engate para facas de tipo cilíndrico de baixa velocidade; fica retida por imãs, contidos na parte superior do engate.

TIPOS DE ENGATES	
	Engate de cabeça cilíndrica para estiletes de tipo lâmina-espada, de baixa velocidade; fica retida por ímãs, contidos na parte superior do engate.
	Engate de retenção por mola, para estiletes de tipo lâmina-espada, de baixa velocidade.
TIPOS DE CABEÇOTES	
	Cabeçote para riscagem de vidro, com sistema de lubrificação por álcool ou óleo.
	Cabeçote para estiletes ou caneta cilíndricos e estiletes de tipo lâmina, pode portar duas ferramentas ativas. Ativação pneumática ou elétrica (solenóide).
	Cabeçote multifunção, para estiletes cilíndricos, canetas e estiletes de tipo lâmina; pode conter cartuchos de impressora acoplados a sua frente. Ativação pneumática ou elétrica (solenóide)
	Cabeçote multifunção de estiletes de tipo cilíndrico e laminar, ativado pneumaticamente.
	Cabeçote de bico LASER com extrator de gases; as duas variações deste tipo de cabeçote são determinadas somente pela existência ou não de extrator de gases e pela regulagem do foco do LASER, que está dentro do bico, que pode ser automática ou manual.

2.5.3. Superfície da mesa para suporte de material laminado

Para a mesa que irá suportar o material laminado a ser processado, o requisito mais importante é a planicidade e paralelismo da superfície de trabalho relativamente ao plano de movimento X-Y. As tolerâncias admissíveis dependem de cada uma das cinco funções.

A função corte por estilete necessita da máxima planicidade e paralelismo (inferior a aproximadamente $\frac{1}{2}$ da espessura da camada suporte). Estas tolerâncias de paralelismo são praticamente impossíveis de realizar estaticamente exigindo compensação dinâmica de altura da ferramenta. Neste trabalho não foi implementada essa possibilidade.

As funções plotagem, riscagem, impressão e corte/gravação LASER exigem superfícies com planicidade e paralelismo de tolerâncias menores, não exigindo compensação dinâmica.

A superfície de trabalho tem que ser lisa e continua para as funções plotagem, riscagem, impressão, corte por estiletes. Já para a função corte/gravação LASER a superfície de trabalho tem que ser em forma de colméia, lâminas verticais ou “estrado de agulhas” formando uma espécie de grelha, seja de alumínio ou aço tratado quimicamente (material mais inerte à ação do LASER). Esta configuração permite a saída de gases de corte e restos de material, por gravidade, sob a peça. Tem ainda a função de não avariar a mesa pelo raio LASER incidente.

Capítulo 3 CONCEPÇÃO DO EQUIPAMENTO

3.1. Desenvolvimento do produto

No desenvolvimento do EM-01/01 pode-se utilizar um conjunto de métodos e ferramentas aplicáveis a cada uma das fases do projeto, que são atividades padronizadas com o objetivo de ter um produto bem sucedido e com liderança tecnológica, importante para o aumento da competitividade. O processo de desenvolvimento de produtos inicia-se no entendimento das necessidades de mercado até o final do ciclo de vida do produto.

A integração das atividades do processo de desenvolvimento de produtos é complexa por sua natureza não estruturada, composta de macrofases, subdivididas em fases e atividades. As macrofases são formadas pelo pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento. O pré-desenvolvimento atinge a formação estrutural da empresa garantindo que esta tenha condições estratégicas de mercado, por outro lado, o pós-desenvolvimento analisa o seguimento de um produto, até sua retirada do mercado. A fase de desenvolvimento é específica e enfatiza os parâmetros tecnológicos explícitos na característica e forma de produção do produto, estando subdividida em cinco fases: **projeto informacional** (levantamento das informações relativas ao problema de projeto e formulação das especificações do produto); **projeto conceitual** (geração de uma concepção para

que o produto atenda da melhor maneira às necessidades do cliente, com critérios técnicos e econômicos); **projeto detalhado** (nesta fase a disposição, a forma, as dimensões e as tolerâncias de todos os componentes são finalmente fixadas, além de encaminhar os processos de fabricação e montagem); **preparação da produção do produto** (colocar a cadeia de suprimentos em condições de produzir, efetuar a produção piloto otimizá-la e detalhar a manufatura); **lançamento do produto** (definição dos processos de negócios, marketing, logística e plano de fim de vida). Neste trabalho somente vão se considerar as fases de projeto informacional e projeto conceitual. Segundo Rozenfeld (2005) apresenta-se um diagrama explicativo destas etapas, mostrada na figura 12.

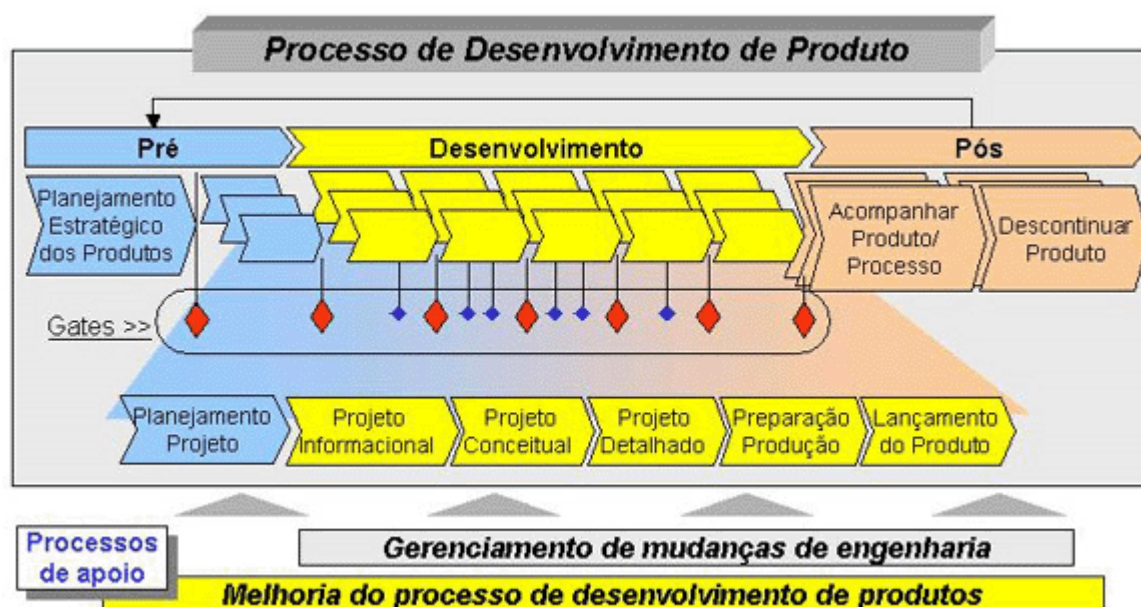


Figura 12 Modelo unificado do processo de desenvolvimento de produtos (Rozenfeld, 2005).

3.2. Projeto informacional

É a primeira etapa da macrofase de desenvolvimento; tem como objetivo ampliar, buscar, identificar e desenvolver um conjunto de informações traduzindo-as em especificações técnicas. As especificações têm que descrever quais são os objetivos e metas para satisfazer, da melhor maneira possível os requisitos do EM-01/01. Segundo Rozenfeld (2005) apresenta-se um diagrama explicativo desta etapa, mostrada na figura 13.

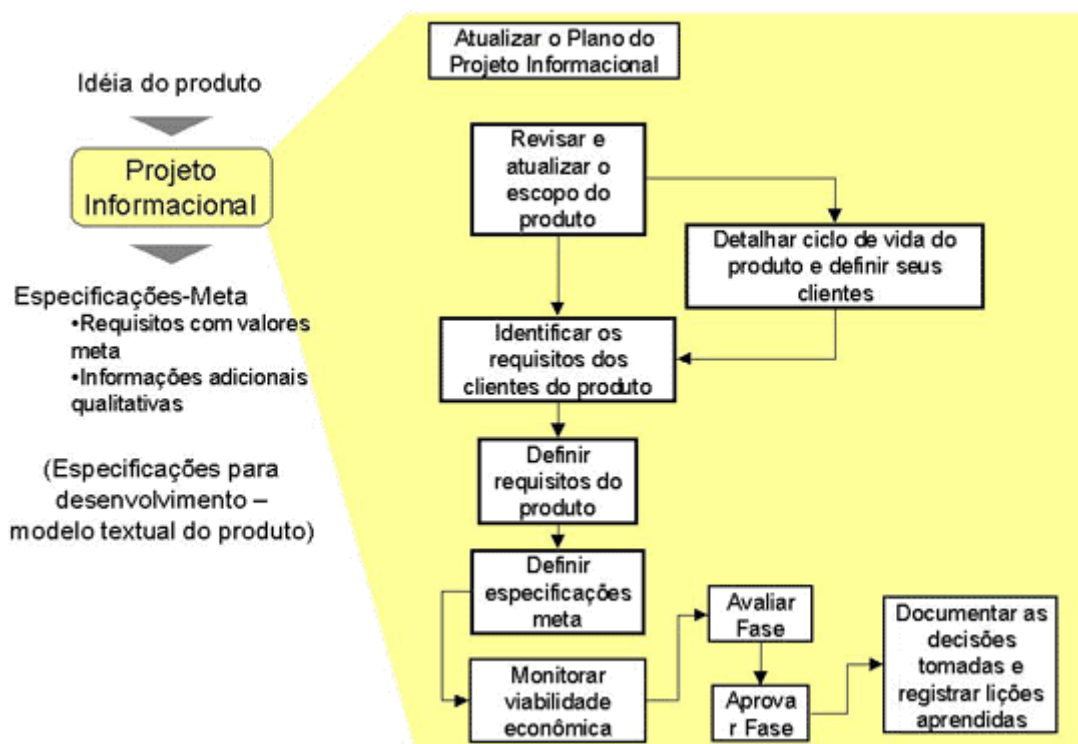


Figura 13 Atividades da fase de projeto informacional (Rozenfeld, 2005).

Definida a descrição do EM-01/01 ou escopo desta, é preciso um conjunto de informações obtidas por meio de questionários, entrevistas, pesquisas e metodologias para levar os requisitos qualitativos das empresas de CV a requisitos quantitativos ou características técnicas do EM-01/01. Esta fase foi composta pelas seguintes atividades: plano do projeto do EM-01/01, escopo do produto, tecnologia disponível, produtos similares, estimativa de potenciais empresas usuárias do EM-01/01, demandas explicitadas pelas empresas de CV, restrições ao projeto do EM-01/01, ciclo de vida do EM-01/01, requisitos das empresas de CV e especificações do EM-01/01.

3.2.1. Plano do projeto do EM-01/01

- Considerar que as pequenas e micros empresas de CV não possuem capital de investimento suficiente para adquirir todos os equipamentos necessários para atender o mercado.
- As necessidades de diversos serviços não são permanentes.
- Os espaços físicos das empresas de CV são limitados.
- O EM-01/01 tem que ser projetada, desenvolvida e montada no Brasil.
- Para aplicação nacional/regional deve ser simples e robusta.

O projeto deve se concentrar em um equipamento com movimento em dois eixos, além disso, deve ser multifuncional e flexível o suficiente para que a mesma estrutura básica possa operar na forma de diferentes equipamentos, exigindo no máximo a troca física do cabeçote onde se encontra a ferramenta ativa. A troca do cabeçote deve ser concebida de modo a ser de fácil, rápida e de segura realização.

Os componentes que fazem parte do sistema devem ser de rápida aquisição e fácil manipulação, procurando sempre utilizar soluções do mercado brasileiro.

O software gerenciador do equipamento tem que decodificar formatos de arquivos mais comum nos trabalhos das empresas de CV.

3.2.2. Escopo do produto

Para que o projeto do EM-01/01 seja bem sucedido, é necessário definir o nicho de mercado que mais funções utilizará. Portanto, o EM-01/01 tem que conter a maior quantidade de equipamentos de maior uso nas empresas de CV, assim terá no mínimo as funções definidas no plano do projeto, isto é:

- Cortar com estilete e LASER.
- Riscar vidro.
- Gravar com LASER.
- Imprimir: plástico e papelão.
- Plottar.

Para essas funções temos como potenciais clientes as empresas de comunicação visual que produzem serviços em plástico, cartão, cartolina, painéis com revestimento em vidro, adesivo de vinil para veículos, peças de publicidade, pontos e gôndola, display e letreiros, além de brindes e troféus.

3.2.3. Tecnologia disponível

O EM-01/01 tem como principal característica a movimentação do cabeçote porta ferramentas em 2 eixos (X e Y), com posicionamento preciso numa resolução de acordo aos serviços requeridos, além de conseguir na mesma estrutura montar individualmente os cinco equipamentos e com *software* gerenciador que possa trabalhar com formatos gráficos de *software* comerciais.

O equipamento deve ser projetado atendendo a maior quantidade de normas técnicas (anexo 3) de especificações de equipamentos.

3.2.4. Produtos similares

Na comparação dos requisitos do EM-01/01 com equipamentos existentes no mercado mundial, dividiu-se a análise em equipamentos uni, bi e multifuncional, mas a comparação final foi feita com a de maior semelhança que é o equipamento multifuncional apresentada na tabela 13.

Tabela 13 Especificações técnicas do equipamento multifuncional a ser comparada.

NOME	VARIOTRON
FABRICANTE	<i>Mechatron</i>
PROCEDÊNCIA	Alemanha
CATEGORIA	Similar
FUNÇÃO / USO	Imprimir Plotagem Corte por estilete Corte e gravação por LASER Fresagem
CABEÇOTE	Cada ferramenta está num cabeçote específico.
SUPERFÍCIE DE TRABALHO	Por cada ferramenta a usar tem que se trocar completamente a superfície de trabalho.

3.2.5. Estimativa de potenciais empresas usuárias do EM-01/01

Em uma primeira análise se pesquisou a região sul do Brasil (tabela 14, 15), e estima-se que das 1088 empresas aproximadamente 30% serão clientes potenciais, ou seja, aproximadamente 300 clientes. O valor de 30% foi arredondado a partir de uma pesquisa “amostra” realizada, onde, do total de quatro empresas visitadas, uma empresa com certeza tornar-se-ia cliente e outra deu um parecer de 50% de chances de adquiri-lo. As outras duas empresas não demonstraram interesse na aquisição do equipamento.

Em uma segunda aproximação, considerando-se a hipótese de que apenas metade dos 300 clientes potenciais demonstre interesse pelo equipamento ou tenham capital disponível para aquisição do produto, definiu-se o número de clientes em 150.

Tabela 14 Resultado da pesquisa na região sul do Brasil.

Itens de Pesquisa	Paraná	Santa Catarina	Rio grande do Sul
Comunicação Visual	345	165	225
Letreiros	60	12	75
Painéis e Cartazes	75	45	30
Sinalização	15	14	27
Total parcial	495	236	357
Total	1088		

Tabela 15 Principais municípios pesquisados.

Paraná	Santa Catarina	Rio Grande do Sul
Curitiba	Florianópolis	Porto Alegre
Cascavel	Joinville	Gramado
Londrina	Camboriu	Canoas
Maringa	Blumenau	Passo Fundo
Foz Iguacu	Lages	Erechim
P.Grossa	Tubarao	São Leopoldo

Fonte: Empresa de Lista Telefônica TELELISTAS

3.2.6. Demandas explicitadas pelas empresas de CV

Através da análise de mercado no Brasil (todas as empresas pesquisadas preencheram um questionário padronizado) (tabela 14 e 15), potenciais clientes disseram que um equipamento multifuncional pode atender às suas necessidades, desde que este seja versátil e de fácil utilização. Tem que processar a maior quantidade de materiais utilizados em empresas de comunicação visual , p/ex. papelão, plástico, vidro, etc.

- As principais funções citadas pelos clientes são corte, gravação, riscar vidro, e impressão de boa qualidade, além disso, os clientes necessitam de rapidez de produção e acabamento nas peças fabricadas.
- A característica multifuncional é vantajosa por ocupar menos espaço físico, e, além disso, reduzir a necessidade de se investir em vários equipamentos específicos.
- O equipamento deve ter um rápida e simples cambio de processo com a troca da ferramenta e superfície de trabalho, além de possibilitar a leitura de arquivos de desenho padrão mais usados no mercado.

- A manutenção deverá ser fácil, pois esta costuma ser terceirizada.
- O equipamento deve ter um nível de vibração mínimo para otimizar o acabamento do produto.
- Máxima otimização da área de trabalho para reduzir a quantidade de resíduos do material utilizado.

3.2.7. Restrições ao projeto do EM-01/01

A principal restrição identificada é o custo de aquisição do produto, pois as empresas de CV geralmente são de pequeno porte, com pouco capital disponível para investir em equipamentos. Além disso, o EM-01/01 deve ser de fácil operação, ser compatível com os tipos de arquivos gráficos mais utilizados no mercado e terá que prever a compatibilidade com as ferramentas de serviços oferecidas pelo mercado.

3.2.8. Ciclo de vida do EM-01/01

Para definir o ciclo de vida do EM-01/01 são consideradas todas as etapas da vida deste, desde o projeto até seu descarte (tabela 16). Nesta etapa, também determinamos os clientes internos e externos de todas as etapas do ciclo de vida.

Tabela 16 Ciclo de vida do produto.

Etapas	Executor (Cliente)
Projeto	Projetistas
Ferramenta	Produção
Testes-protótipo	Projetistas
Fabricação/integração	Produção
Embalagem	Produção
Manuais	Projetistas
Instalação	Equipe de <i>start up</i>
Operação	Agências de comunicação visual
Equipe suporte/Armazenamento	Equipe de suporte e manutenção
Transporte / armazenamento	Transportadora
Comercialização	Equipe de vendas

3.2.9. Requisitos das empresas de CV

Através da identificação do ciclo de vida analisaram-se os atributos básicos do EM-01/01 e as necessidades das empresas de CV, dentro do ciclo de vida. O resultado encontra-se disponível no anexo 4, matriz de apoio ao levantamento de necessidades, a partir desta matriz conforme Fonseca (2000) as necessidades das empresas de CV foram agrupadas e classificadas, tendo como conclusão a definição destes, de acordo com a tabela 17.

Tabela 17 Requisitos levantados pelas empresas de CV para o projeto do EM-01/01.

Executor (Cliente)	Necessidade
Técnico de Fabricação	Materiais padronizados
	Projeto Modular
	Tolerâncias de acordo com o processo
	Sem ferramenta especial
Integração/fabricação	Fácil Montagem
Teste	Teste eficiente
Empacotamento	Robustez
Gerência	Alta Produtividade
Diretoria	Baixo Custo
Instaladores	Facilidade de instalação
	Ambiente normalizado
Usuário final	Fácil de Operar
	Operar diferentes materiais
	Movimento Vetorial
	Movimento Varredura
	Compatibilidade com arquivos-padrão
	<i>Plug & Play</i>
	Resolução
	Baixa Vibração
	Rápida Troca de Ferramentas
	Acabamento no corte
	Compatível com Ferramentas
	Mesa de suporte

Executor (Cliente)	Necessidade
Usuário final	Dispositivo de travamento
	Operação Segura
	Baixo Preço
	Baixo Custo Operacional
	Superfície multifuncional
Manutenção	Fácil acesso a componentes
	Baixa frequência de Manutenção
Transporte	Identificação de cuidados

Tabela 18 Categorização dos requisitos de usuarios.

Requisitos de usuarios.	Pontos	%	Valor de importância
Materiais padronizados	9	0,56	1
Projeto modular	2	0,12	1
Tolerâncias de acordo com o processo	12	0,75	1
Sem ferramenta especial	13	0,81	1
Fácil montagem	7	0,44	1
Teste eficiente	28	1,75	2
Robustez	56	3,49	3
Alta produtividade	25	1,56	2
Movimento vetorial	40	2,50	2
Baixo custo	65	4,05	3
Facilidade de instalação	15	0,94	1
Ambiente normalizado	1	0,06	1
Fácil de operar	70	4,37	4
Operar diferentes materiais	78	4,87	4
Movimento varredura	60	3,74	3
Compatibilidade com arquivos-padrão	65	4,05	3
<i>Plug & Play</i>	43	2,68	2
Resolução	111	6,92	5
Baixa vibração	60	3,74	3
Acabamento no corte	101	6,30	5
Compatível com ferramentas	73	4,55	4
Mesa de suporte	76	4,74	4

Requisitos de usuarios.	Pontos	%	Valor de importância
Dispositivo de travamento	70	4,37	4
Operação segura	90	5,61	5
Rápida troca de ferramenta	27	1,68	2
Baixo oreço	92	5,74	5
Baixo custo operacional	111	6,92	5
Superfície multifuncional	88	5,49	4
Fácil acesso a componentes	52	3,24	3
Baixa frequência de manutenção	59	3,68	3
Identificação de cuidados	4	0,25	1
Totais	1603	100	

O valor de importância foi adotado segundo a seguinte escala.

Rango de %		Valor de importância
0,00	1,38	1
1,38	2,76	2
2,76	4,14	3
4,14	5,52	4
5,52	6,92	5

Os requisitos das empresas de CV mostrados na tabela 17 foram quantificados utilizando-se o método do gráfico de “*Mudge*” (pela extensão da metodologia do gráfico de “*Mudge*” não foram seus procedimentos anexados), onde estes foram comparados um a um para se determinar o valor do consumidor na casa da qualidade resultando a categorização de suas necessidades na tabela 18.

Segundo Walden (1993), a casa da qualidade (*QFD, Quality Function Deployment*), Emprega procedimentos e processos para melhorar a comunicação, centrando-se na compreensão da voz do cliente e traduzida à voz do engenheiro. Tem aplicações onde se reduziu o tempo de projeto entre 40 % e 50% e os custos entre um 50% e 60%, mantendo e melhorando a qualidade do projeto.

Segundo Rozenfeld (2005), este método tem por objetivo a integração das necessidades de informação da equipe de desenvolvimento do produto, assegurando: um produto bem sucedido no mercado, que cada uma das funções seja orientada a entregar benefícios ao consumidor, redução do número de mudanças no projeto, diminuição do ciclo de projeto, redução dos custos de inicio de operação, tradução de detalhamento não mensurável em detalhamento mensurável,

processo de desenvolvimento de produtos formais, resultando mais eficiente no tempo com diminuição de reclamações e entrega, como conclusão, uma lista das especificações do equipamento em ordem decrescente das características que deverá se ter maior atenção.

A casa da Qualidade do EM-01/01 é apresentada na figura 14. Se utilizando o software WinQFD (NEDIP, 2005).

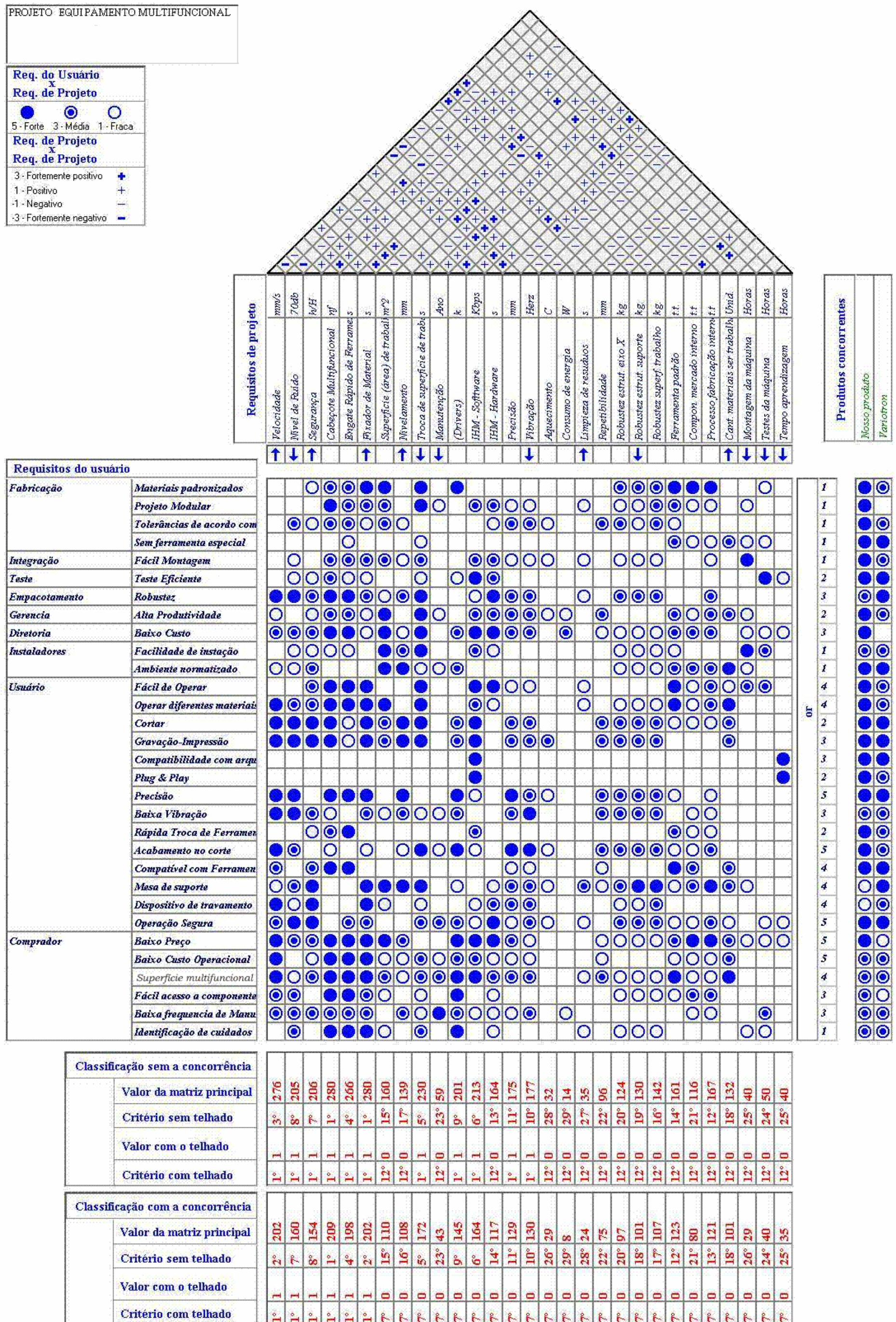


Figura 14 Casa da Qualidade, utilizando-se o software WinQFD.

3.2.10. Especificações do EM-01/01

Nesta etapa do projeto os requisitos do EM-01/01 foram listados e avaliados (poderados) através da matriz da Casa da Qualidade.

Com base nos resultados apresentados pela Casa da Qualidade, a tabela 19, apresenta a lista de requisitos do EM-01/01. A continuação da tabela 19 será explicada as possíveis escolhas dos pontos mais conflitantes do projeto.

Tabela 19 Requisitos do EM-01/01.

Pos.	Requisito	Pos.	Requisito
1	Cabeçote multifuncional	16	Nivelamento
2	Fixador de material	17	Robustez leve da superfície de trabalho
3	Velocidade	18	Maior quantidade de materiais a trabalhar
4	Engate rápido de ferramenta	19	Robustez leve, estru. de suporte da máq.
5	Troca de superfície de trabalho	20	Robustez leve, estru. sustentação do eixo X
6	Interação homem máquina, <i>software</i>	21	Utilizar peças do mercado interno
7	Nível de ruído	22	Repetibilidade de movimento.
8	Segurança	23	Manutenção
9	<i>Servodrivers</i>	24	Testes do equipamento
10	Vibração	25	Tempo aprendizagem de operação
11	Resolução	26	Montagem do equipamento
12	Ferramentas padrões	27	Aquecimento
13	Utilizar processos na fabricação interna	28	Limpeza de resíduos
14	Interação homem máquina, <i>hardware</i>	29	Consumo energia
15	Superfície (área) de trabalho		

Pontos conflitantes do EM-01/01

A. Estrutura mecânica

A “estrutura mecânica” do equipamento proposto está composta pela sustentação (suporte do pórtico X-Y), superfície da área de trabalho (intercambiável), sistema de posicionador X-Y (servoposicionadores) e cabeçote intercambiável. O posicionamento da altura de serviço para acionamento das ferramentas pode ser realizado de duas formas no eixo Z se movimentando a mesa ou se movimentando o porta ferramenta. Este movimento de posicionamento da altura das ferramentas no

eixo Z exigido no início e final do serviço ativo se conhece como configuração de ½ eixo.

Este movimento é necessário para compensar as diferentes espessuras do material a ser trabalhado, e posicionar a ferramenta na altura adequada de funcionamento.

A “superfície de trabalho” é o componente que requer maior estudo no EM-01/01, já que é específico para cada função, p/ex., como no corte por LASER o feixe danifica a superfície de suporte do material, são utilizadas lâminas de aço ou alumínio formando uma grade pontiaguda, porém, a superfície de trabalho para os demais equipamentos tem que ser lisa com um sistema de vácuo para a fixação do material, podendo ser de alumínio, aço, acrílico, ou materiais semelhantes.

Desta maneira, a mesma estrutura X-Y do sistema poderá servir aos diferentes tipos de equipamentos, exigindo basicamente apenas a troca física do cabeçote que aloja a ferramenta ativa, e da superfície sobre o qual é trabalhado o material.

Na escolha da superfície de trabalho tentou-se cobrir a maior quantidade de tipos de materiais usados nos serviços prestados pelas empresas de CV. Segundo GMS (2005) e a norma ISO 216, as dimensões de venda dos produtos usados pelas empresas de CV são (anexo 1):

Acrílico	1000 x 2000	2000 x 2000	
<i>Eskaprint</i>	800 x 1100	1200 x 1520	1250 x 1820
<i>Foam X</i>	810 x 1220	1220 x 2440	
Pai (Poliestireno de alto impacto)	1000 x 2000		
Polipropileno PP	800 x 1200		
Pvc (Poli cloreto de vinila) espumado	1220 x 2440		

Também poderão ser considerados outros produtos, como a *Médium Density Fiberboard* (MDF), *eucatex*, chapas de fibra, fórmica, aglomerados, etc, que tem dimensões semelhantes às chapas acima mencionadas.

Logo, pelo explicado no paragrafo anterior e no anexo 1, o equipamento proposto deve ter áreas de trabalho de 1700 mm (em X) e 2500 mm (em Y) que corresponde a duas vezes o formato DIN –A0.

Para bem atender aos anseios empresariais, o EM-01/01 tem que operar como:

- Impressora, ao acoplar um cabeçote impressor.
- Sistema de corte e gravação, acoplando um LASER.

- Equipamento de corte de chapas (papelão, plásticos, etc.) de espessuras reduzidas, acoplando estiletes de diferentes geometrias.
- Equipamento de desenho vetorial (plotadora), acoplando uma caneta.
- Equipamento riscador de vidro, acoplando uma riscadora de ponta de diamante.

B. Especificações de movimento

Na escolha dos parâmetros de movimento para o equipamento tem que se considerar duas propriedades que são dependentes, a resolução e a velocidade do cabeçote. O EM-01/01 recebe um desenho, o interpreta e o transforma em movimento nos eixos, de maneira que exista coincidência entre as medidas do desenho e os deslocamentos que são realizados pelo sistema de movimentação do pórtico X-Y. P/ex., nos processos de corte por estilete, riscagem de vidro, corte e gravação a LASER produz-se um sulco no material. Se o sulco atravessa a chapa ele é um corte, se o sulco não atravessa a chapa então é uma gravação ou riscagem; nestes casos a resolução adotada no projeto tem que ser de um quarto da largura gerada pela ferramenta ativa. Desta maneira é dependente da resolução da função escolhido e das espessuras ou profundidades do material a ser cortado/gravado.

Deve-se considerar no item da velocidade, que nestes equipamentos trabalha-se com duas velocidades de movimentação. A primeira, definida como velocidade de deslocamento linear máxima do EM-01/01, é usada para dois tipos de movimento, procura da posição zero da área de trabalho, comumente chamada da posição HOME na qual as coordenadas são zerados (encoders zerados), ficando o EM-01/01 pronto para receber o desenho a se trabalhar, e na procura do ponto de início, no qual a ferramenta escolhida deve começar o trabalho. A segunda velocidade, que geralmente é mais lenta, definida como velocidade de trabalho, é a que o EM-01/01 utiliza quando a ferramenta é ativada.

Na tabela 20 apresenta-se o critério escolhido na procura da resolução do EM-01/01 em função de cada uma dos equipamentos que a compõem. O critério determina que a resolução escolhida para cada uma dos equipamentos seja $\frac{1}{4}$ da espessura constante decorrente da própria ferramenta ativa.

Tabela 20 Resolução de medição do cabeçote no EM-01/01.

Equipamentos	Espessura de serviço mm	Resolução mm	Velocidade de funcionamento da ferramenta mm/s
Impressora	0,40	0,100	900
Corte e gravação LASER	0,60	0,150	10
Corte por estilete	0,16	0,040	600
Plotagem	0,50	0,125	800
Riscagem de vidro	0,50	0,125	400

Especificações máximas absolutas para as grandezas de movimento:

- Velocidade linear máxima do EM-01/01 = 900 mm/s
- Deslocamento de aceleração = 51 mm
- Aceleração máxima no comprimento = $7,95 \text{ m/s}^2 = 0,8 \text{ G}$.
- Resolução na posição (Será trabalhado $\frac{1}{4}$ na pior das resoluções) = 0,01 mm.

C. Perfis de velocidades no comportamento do EM-01/01

A determinação de um servosistema que supra os requisitos do sistema de posicionamento, exige o cálculo de torque do servomotor. É também necessário definir as acelerações e desacelerações do movimento, isto é, um perfil de comportamento de velocidade do movimento (perfil de Velocidade de Movimento (PVM)) dos eixos (anexo 9, “Perfil de velocidade de movimento do EM-01/01 projetado”) atendendo a resolução requerida. Neste perfil o pico de torque necessário exigido pela carga a se movimentar encontra-se durante a aceleração e desaceleração. As figuras 15 e 16 apresentam as especificações do PVM para o eixo X e Y respectivamente, que os acionamentos têm que permitir realizar.

No EM-01/01 projetado, onde os servoposicionadores operam em forma vetorial, com movimento interpolado, de preferência ambos os eixos (X e Y) têm que ter dinâmicas de movimento iguais. Como as dinâmicas podem não ser igualadas, devido ao fato que, a do eixo Y (com certeza) terá maior inércia (por suportar a carga do outro eixo), este será considerado como o eixo mais crítico, de maneira que definirá a dinâmica de todo o sistema X-Y.

Como o EM-01/01 está prevista para 5 tipos de equipamento diferentes, cada qual com características de resolução e movimento diferentes (tabela 20), o mais

exigente, em resolução, o corte por estilete (0,1 mm), enquanto o mais exigente em máxima velocidade é a impressão digital (900 mm/s).

Na escolha do perfil de velocidade com os requisitos da tabela 20 é usado como valor máximo o critério (Burgoa, 2004) de 4% de deslocamento do eixo para aceleração e 4% para desaceleração (no eixo X usou-se 3%, no eixo Y usou-se 2%). Nas figuras 15 e 16, listam-se os requisitos dos servosistema de cada eixo segundo as características do PVM.

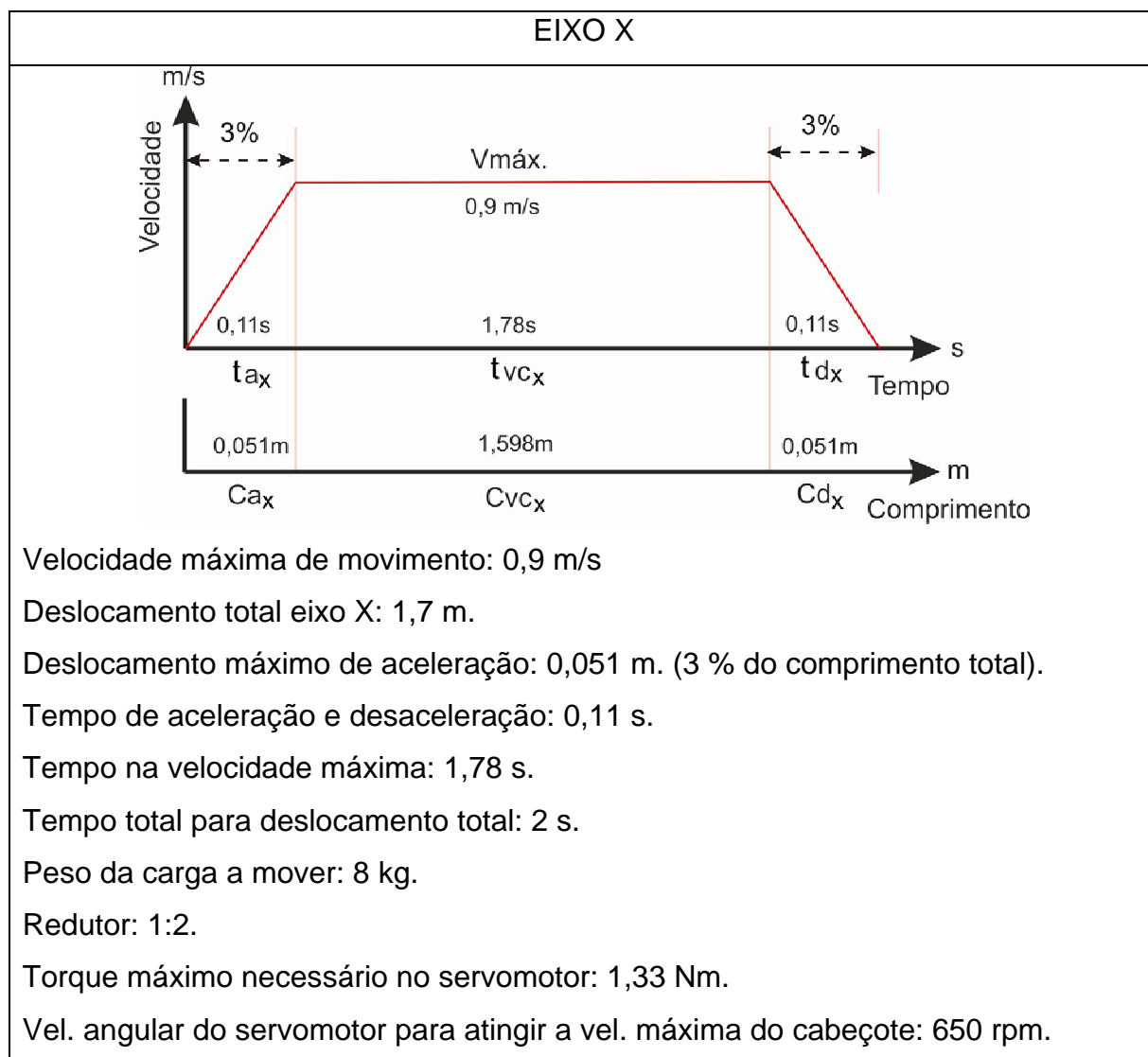


Figura 15 Requisitos do Servosistema do eixo X no EM-01/01 projetado.

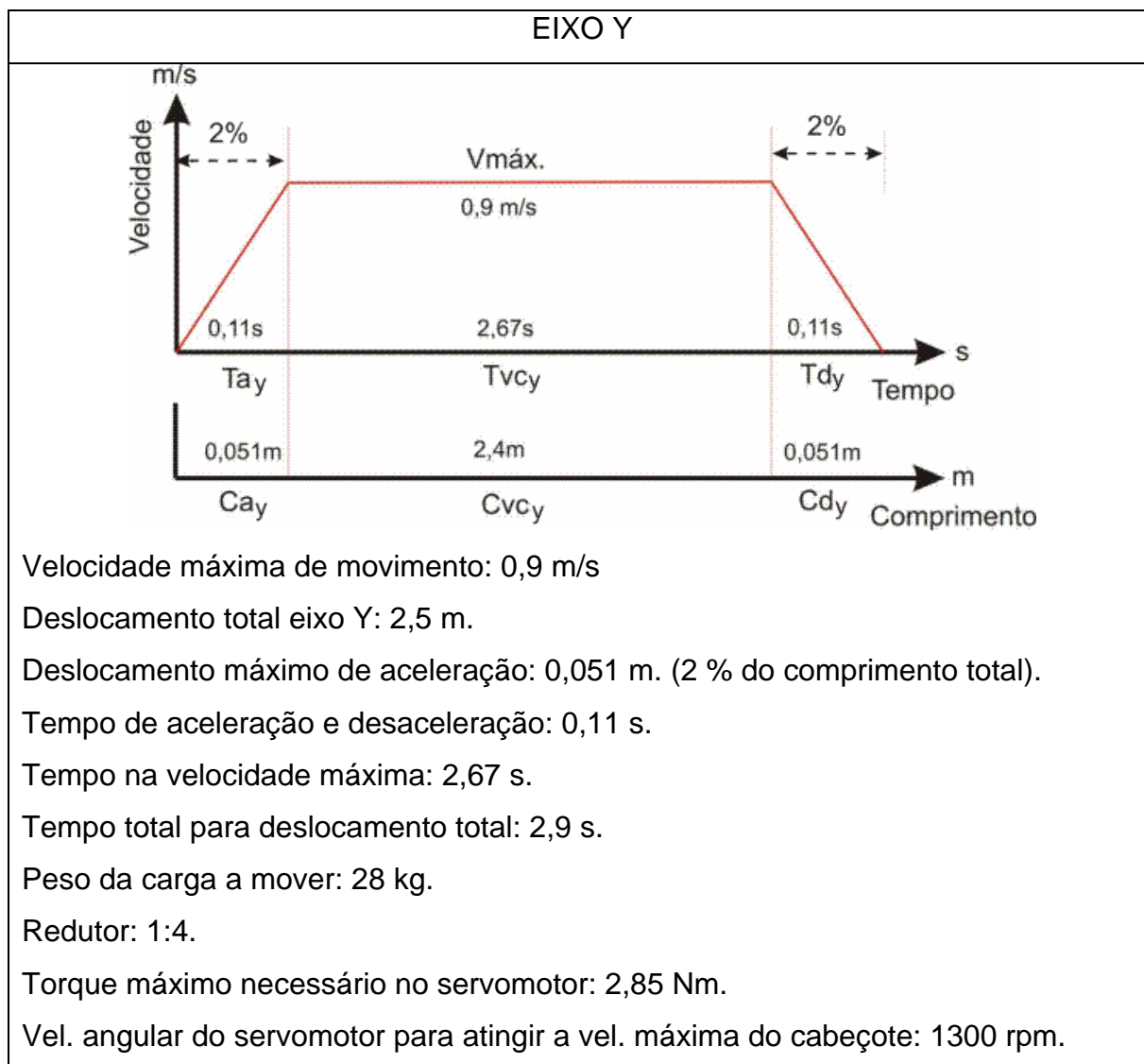


Figura 16 Requisitos do Servosistema do eixo Y no EM-01/01 projetado.

A partir da tabela 20, as figuras 15 e 16, obtêm-se as especificações de comportamento dinâmico dos acionamentos de ambos os eixos apresentada nas tabelas 21 e 22, respectivamente. No anexo 9 aprofunda-se o cálculo destas variáveis.

Tabela 21 Especificações necessárias do eixo X.

Coeficiente	Valor	Unidade
$t_{ax} = t_{dx} = t_{sx}$	0,11	s
M_{px}	0	%
e_x	0,01	mm

Tabela 22 Especificações necessárias do eixo Y.

Coeficiente	Valor	Unidade
$t_{ay} = t_{dy} = t_{sy}$	0,11	s
M_{py}	0	%
e_y	0,01	mm

Onde:

$t_a = t_d = t_s$: Tempo de subida, ou tempo necessário para acelerar e desacelerar.

M_p : Sobrepassagem.

e : Erro de posicionamento.

Os sob-índice especificam cada eixo, eixo X ou eixo Y.

D. Placa de controle de movimento

A placa de controle realiza a comunicação entre o *software* gerenciador e os servoacionamentos, além de integrar os sinais dos sensores do EM-01/01. A placa de controle (item 2.4.5) escolhida é da NI modelo PCI 7342, de tipo CNC de arquitetura aberta (MCB). Não existe CNC de arquitetura fechada para máquinas do tipo construtivo requerido (multifuncional), cuja disponibilidade reduziria o tempo de programação.

O fato de não existir CNC de arquitetura fechada para EM-01/01, e se escolher uma MCB, acarreta um grande tempo de desenvolvimento pela programação interna requerida neste tipo de placas, necessitando de sintonização das funções internas para que exista comunicação entre o *software* gerenciador e o EM-01/01, podendo-se daí comportar como um equipamento de comando numérico.

E. Linguagem do *software*

O código de programação do *software* gerenciador que comunica a MCB com o equipamento pode ser feito principalmente de duas formas:

- **Código de programação realizado em forma de texto**, a qual pode ser subdividida em:
 - **Modo texto sem interface gráfica** (Borland C ou C++).
 - **Modo texto com interface gráfica** (*Microsoft Visual C, Microsoft Visual Basic*)
- **Código de programação realizada em forma gráfica mediante ícones** (*Labview*).

Foi escolhido o código de programação na forma gráfica, utilizando a linguagem *Labview*, pois é do mesmo fabricante das placas de CN a serem utilizadas no EM-01/01, o que supõe-se garantir uma alta integração entre esta linguagem e o *hardware* escolhido.

As vantagens que apresenta são:

- Por ser de interface gráfica, é confortável para construir programas sem a necessidade de escrever linhas de comando, o que faz que seja mais fácil de entender para um engenheiro, não precisando um nível alto de conhecimento da linguagem em si.
- Facilidade de leitura do código. Em projetos extensos precisa-se desde o começo ter uma estrutura e ordem de programação. E algo muito importante é a facilidade e rapidez para adicionar ou modificar tarefas na programação, mediante simples adição de ícones de funções.
- Este *software* de programação pode gerar um auto-executável, o que lhe permite executar em computadores que não tenham instalado o *software Labview*.

As desvantagens que apresenta são:

- Lentidão de processamento do software mas não do hardware.
- Para aplicações muito pontuais faltam funções específicas, mas isto pode ser superado com a criação de rotinas, p/ex. em código C, para realizar a tarefa requerida.

Na tabela 23 são definidas as especificações do EM-01/01, com base nos resultados apresentados pela QFD, na tabela 20 e no item 3.2.10.

Tabela 23 Resumo das especificações do EM-01/01.

Requisito	Objetivo	Uni.	Sensor	Saída indesejada	Obs./Restrições
1 Cabeçote multifuncional	Utilizar 5 ferramentas com funções distintas	Nf	Sensor de presença	Perder desempenho	
2 Fixador de material	Fixação rápida do material: 10 s	Seg.	Sensor de presença	Material soltar-se durante o corte	Materiais de tamanhos diferentes
3 Velocidade	Produtividade: 900 mm/s	m/s	Encoder	Variação de velocidade	
4 Engate rápido de ferramenta	Fixação rápida da ferramenta: 10 s	Seg.	Sensor de presença	Ferramenta solta durante operação	
5 Troca de superfície de trabalho	Troca da superfície máxima 300 s (5 min.)	Seg.	Sensor de presença	Não pode ser usada por cada ferramenta	Estrago da superfície, ferramenta, material.
6 Interação homem máquina, software	Programável em Labview		Servodriver controlador	Perda de dados; corte diferente do desenho.	Compatível com softwares (DXF)
7 Nível de ruído	Máximo 70 dB	db	Decibelímetro	Ruído excessivo	
8 Segurança	Evitar acidentes perda zero de H/h	H/h	Barreira óptica; botões.	Acidentes	De acordo com normas
9 Servodrivers	Ganho	K	Comparador	Erro de leitura	Utilizar servodriver padrão
10 Vibração	Mícron, frequência.	Hertz	piezelétricos, indutivos.	Precisão, movimentação.	Estrago das peças
11 Resolução	Mm +/- 0,01	mm	Encoder	Sem precisão	
12 Ferramentas padrões	Comercialmente disponível	T.T.	Padronizadas	Únicas, sem stock.	Tempo de aquisição
13 Utilizar processos na fabricação interna	Fresa, torno, ferramenta de usinagem em geral.	T.T.	Usinagem	Necessidade de investimento	
14 Interação homem máquina hardware	CNC de Arquitetura aberta	Seg.	Programável	Não compatível	
15 Superfície (área) de trabalho	1700 X 2500 mm ²	Mm ²	Comparador	Chapa não poder ser trabalhada	De acordo com normas
16 Nivelamento	Nível +/- 1mm	mm.	Nível	Vibração; Diminuir vida	Nivelamento máximo: 10mm
17 Robustez leve da superfície de trabalho	Suportar equipamento menor a 150.kg.	Kg.	Comparador	Dano da superfície	Estrago da superfície

	Requisito	Objetivo	Uni.	Sensor	Saída indesejada	Obs./Restrições
18	Maior quantidade de materiais a trabalhar	Mais de 10	Unid.	Comparador	Limitado nos trabalhos que precisa atingir	Não pode realizar o trabalho
19	Robustez leve, estrutura de suporte da máquina.	Suportar equipamento menor a 400 kg.	Kg.	Célula de carga	Mesa não suportar carga e quebrar	Não tem que vibrar
20	Robustez leve, estrutura sustentação do eixo X	Suportar cargas menores a 50 kg.	Kg.	Célula de carga	Inércia e tempo de movimento elevado, empenamento	Carga < 10kg
21	Utilizar peças do mercado interno	Motor, redutor, guias, estrutura, etc.	T.T.	Catalogo de fabricantes	Facilidade de manutenção	
22	Repetibilidade de movimento.	Mm +/- 0,1	mm.	Comparador	Resolução, movimentação.	Peças sem precisão
23	Manutenção	Maior há 1 ano	Ano	Frequência de manutenção	Alto índice de falha	Custo baixo
24	Testes da máquina	Baixo de 5 horas	Horas	Horas homem	Tempo, custo de fabricação.	
25	T. aprendizagem de operação	Menor há 4 horas	Horas	Treinamento básico	Difícil de manipular	Sem especialização de operador
26	Montagem da máquina	Baixo de 48 horas	Horas	Horas homem	Tempo, custo de fabricação.	
27	Aquecimento	Não maior que 35º Celsius	°C	Termômetro	Queima de aparelho	
28	Limpeza de resíduos	Acesso fácil e rápido no mais de 300s	Seg.	Comparador	Tempo de operação	Custo baixo
29	Consumo energia	Não maior há 3000 Watt	Watt	Wattímetro	Sobre consumo, custo elevado.	

No término da etapa do projeto informacional dispõe-se das metas e a quantificação destas para continuar com o desenvolvimento do EM-01/01 (Os dados foram passados de dados qualitativos a quantitativos). Feita uma avaliação da fase informacional, foi realizado um aprofundamento nos requisitos do EM-01/01 considerando os seguintes itens na avaliação:

- Abrangência: que as especificações do EM-01/01 contemplem todos os aspectos relacionados ao ciclo de vida do EM-01/01.
- Concisão: realizar o refinamento e eliminação de redundâncias da matriz de apoio como o levantamento das necessidades.
- Estruturação adequada: realizar uma lista de especificação que possua todos os parâmetros mensuráveis para o projeto do EM-01/01.
- Clareza: realizar uma lista de especificações técnicas descritas de modo claro e conciso.
- Praticabilidade: que os requisitos possam ser analisados facilmente pela equipe de projeto.

3.3. Projeto conceitual

É a segunda etapa da macrofase de desenvolvimento. Tem como objetivo a geração de concepções do produto, segundo Rozenfeld (2005) apresenta-se um diagrama explicativo desta etapa, mostrado na figura 17.

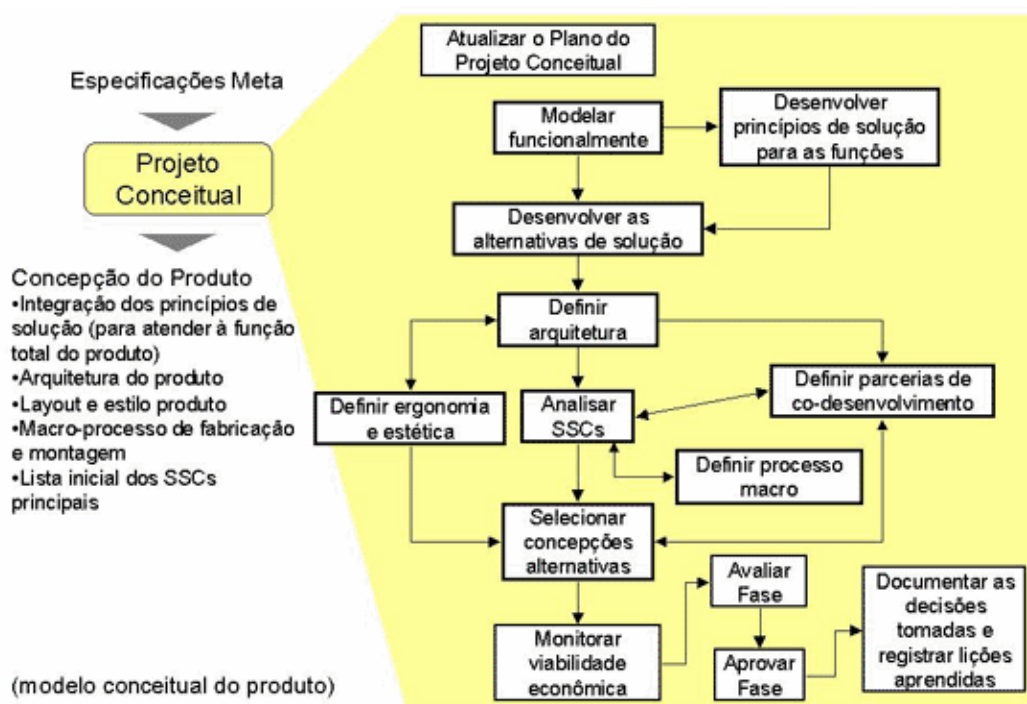


Figura 17 Atividades da fase de projeto conceitual (Rozenfeld, 2005).

No começo da fase de projeto conceitual o produto é modelado funcionalmente, descrito de uma forma abstrata. Este modelo funcional devem ser pesquisados vários princípios de solução atendendo cada função sem restringir as soluções específicas. As funções são gerais e descrevem como o EM-01/01 vai atender às necessidades funcionais para atingir os objetivos e especificações requeridas pelas empresas de CV.

Para passar do abstrato, que começou no projeto informacional, para o concreto, que é necessário para dar forma física o EM-01/01, deve-se usar soluções que podem ser geradas por equipamentos existentes, experiências anteriores, etc. ou por métodos de criatividade (tabela 24). Estes são classificados em métodos intuitivos, sistemáticos ou orientados.

Tabela 24 Classificação dos métodos de criatividade.












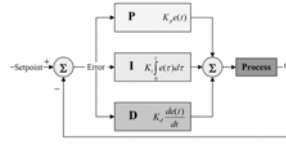
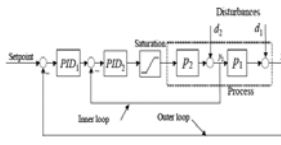
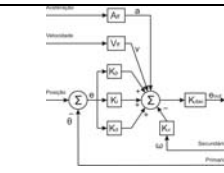
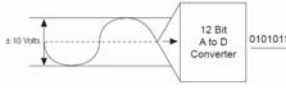
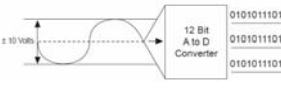
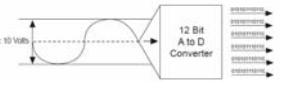
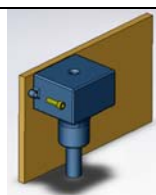
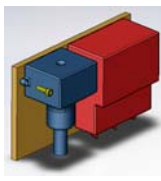
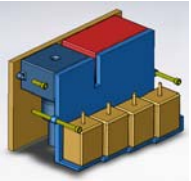
Métodos intuitivos	Métodos sistemáticos	Métodos orientados
<i>Brainstorming</i>	Método morfológico	TRIZ
Método 635	Análise e síntese funcional	SIT
<i>Lateral thinking</i>	Analogia sistemática	
<i>Synerics</i> ou sinergia	Análise do valor	
Galeria	Questionários e <i>cheklists</i>	


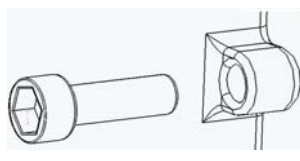


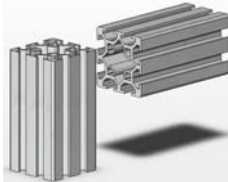
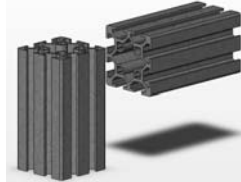
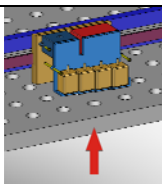
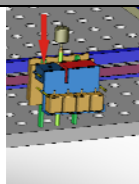
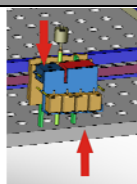
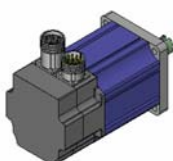

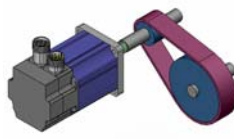

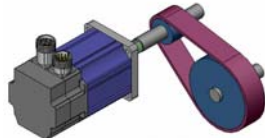

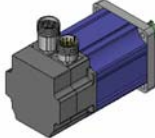
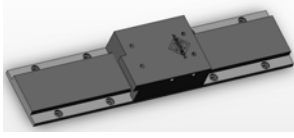
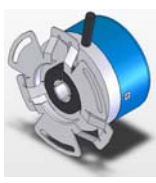
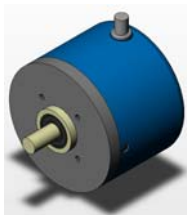
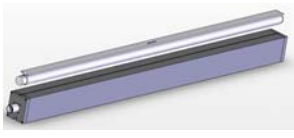
Encontraram-se três soluções possíveis por cada função para o EM-01/01 que são apresentadas na tabela 25, as soluções foram pré-filtradas pelas características de viabilidade, disponibilidade tecnológica, método passa/não passa, e matriz de decisão, se utilizando os seguintes métodos de criatividade:

- Intuitivos: *brainstorming*.
- Sistemáticos: método morfológico.
- Orientados: TRIZ.

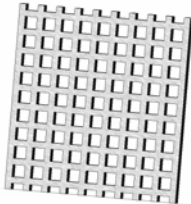

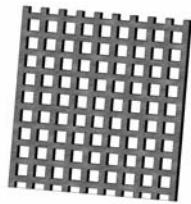

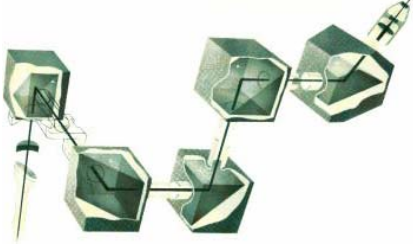

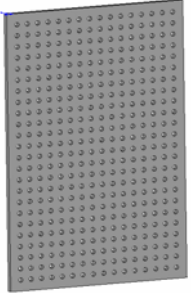

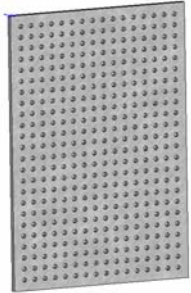
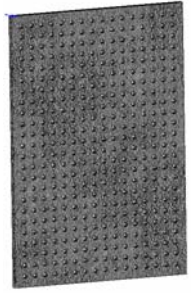









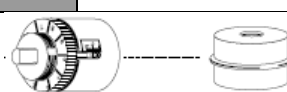
Obs: Salienta-se em sombreado as soluções escolhidas por cada função para o EM-01/01 (tabela 25). Os métodos de criatividade usados pela suas extensão da metodologia não foram seus procedimentos anexados.

Tabela 25 Alternativas de solução.

FUNÇÃO	SOLUÇÕES			
Formato de desenho Vetorial				
	DXF	AI	PS	
Formato de desenho Varredura				
	BMP	GIF	JPG	
Forma de decodificação	<pre>0 SECTION 2 HEADER 9 \$ACADVER 1 AC1018 9 \$ACADMAINTVER</pre>	<pre>500 Z0.1000 G00 X500.0000 Y500.0000 G01 Z0.0000 G01 X500.0000 Y750.0000 Z0.0000 G02 X500.0000 Y1250.0000 I0.0000 J250.0000 G03 X746.1722 Y1456.4194 I0.0000 J250.0000 G02 X800.4518 Y1497.4481 I49.2344 J-8.7161 G02 X1250.0000 Y1000.0000 I-50.4518 J-497.448 G01 X1250.0000 Y500.0000 Z0.0000 G01 X500.0000 Y500.0000 Z0.0000 G00 Z0.1000</pre>		
	Direto por formato DXF	Indireto por código G		
Código de programação do software				
	Forma TEXTO	Forma GRÁFICA		
Comando controle de movimento				
	CNC arquitetura aberta	CNC arquitetura fechada	Hardware específico	
Técnica de controle dos eixos				
	PID convencional	PID em cascata	PID feedforward	
Comando ferramenta (Sinais Digitais)				
	Pouca	Meia	Muita	
Cabeçote de ferramentas				
	1 Modulo	2 Modulo	3 Modulo	

Fixação dos módulos			
	Manopla de engate rápido	Parafuso	magnético
Estrutura de sustentação			
	Plástico	Alumínio	Aço
Posicionar altura para trabalhar			
	Movimentar Mesa	Movimentar Cabeçote	Movimentar os dois
Transmissão transformadora			
		Harmonic driver	Polia correia sincronizadora
	Acoplado sem redutor	Acoplado com redutor	
Transmissão conversora			
	Fuso de esferas recirculantes	Polia correia sincronizadora	
Acionamentos ou atuadores dos eixos			
		Com escovas	Brushless
	Motor de passo	Servomotor rotacional	
Sensores posição Medição de deslocamento linear			
	incremental	absoluto	
	Encoder	Resolver	Encoder linear

FUNÇÃO	SOLUÇÕES				
Sensores de presença Medição dos limites do pórtico					
	Indutivos	Capacitivos	Ópticos	Ultra-som	Mecânicos
Movimentação eixo X					
	Horizontal		Vertical		
	Servomotor fixo em um de seus lados				
Movimentação eixo Y					
	Por dentro, duplo redutor		Por fora, simples redutor		
	Servomotor na metade do eixo		Servomotor encostado na lateral do eixo		
Promover segurança do operador					
	Barreira óptica	Sensor de pressão		Sensor piezo-elétrico	

EQUIPAMENTOS					
LASER, CO ₂	Superfície da mesa				
		Colméia de alumínio	Lamina de alumínio	Colméia de aço	Lamina de aço
	Condução elemento atuante				
		Espelhos na estrutura		Espelho no braço	
IMPRESSORA	Superfície da mesa Vácuo				
		Alumínio	Aço	Plástico	Borracha
	Condução elemento atuante				
		<i>Ink jet printer</i>	Térmico piezelétrico Cartuchos	Aerógrafo	
PLOTTER	Condução elemento atuante				
		Caneta		Porta estilete adaptação caneta	
ESTILETES	Condução elemento atuante				
		Estilete tangencial	Estilete de ponta	Estilete de disco	
VIDRO Lubrificante	Condução elemento atuante				
		Estilete ponta diamante		Estilete ponta disco	

3.4. Concepção final escolhida do EM-01/01

A solução foi filtrada pelas características de viabilidade, disponibilidade tecnológica, método passa/não passa, e matriz de decisão, tendo como resultado a seleção do melhor arranjo, mais adequado para as necessidades de projeto e restrições do EM-01/01. como explicado anteriormente os métodos de criatividade usados pela suas extensão da metodologia não foram seus procedimentos anexados.

- Estrutura de perfis de alumínio e aço de rápida montagem, completamente usinada no país.
- Fixação dos módulos com parafuso.
- Área da mesa de 1700 x 2500 mm.
- Suporta a maior quantidade de materiais comerciais
- Arquivos de leitura .DXF e .BMP.
- Cabeçote com três módulos de porta ferramentas.
- Perfil de velocidade de movimento trapezoidal
- Velocidade de movimento de 900 mm/s, com aceleração de 7,9 mm/s².
- Troca de superfície de trabalho rápida.
- Superfície de trabalho da função LASER, um só modulo constituído de grade com bandeja em baixo, todo isto inserida nas corredeiras laterais da mesa, quando se precisar.
- Superfície de trabalho das funções impressora, plotagem, riscado de vidro e corte por estilete de aluminio com sistema de vácuo fixa na superfície de suporte.
- *Software Labview*, motion control. MCB, PCI 7342 da NI.
- Resolução de 0,1 mm, requeridas pelos serviços das empresas de CV.
- Sobre passagem dos servoacionamento 0%.
- Robustez dos componentes usados.
- Limpeza de resíduos rápida.
- Controlador PID convencional.
- 70 sinais digitais no controle das ferramentas.
- Movimentando o cabeçote no posicionador em ½ eixo.
- Transmissão transformadora: (reductor) de polias e correias sincronizadoras.
- Transmissão conversora: duas polias e correias sincronizadoras.
- Encoder incremental, sensores ópticos e sensores fim de curso mecânico.
- Segurança por sensor de pressão.

Nas figuras 18, 19, 20 mostra-se o arranjo do EM-01/01 projetado.

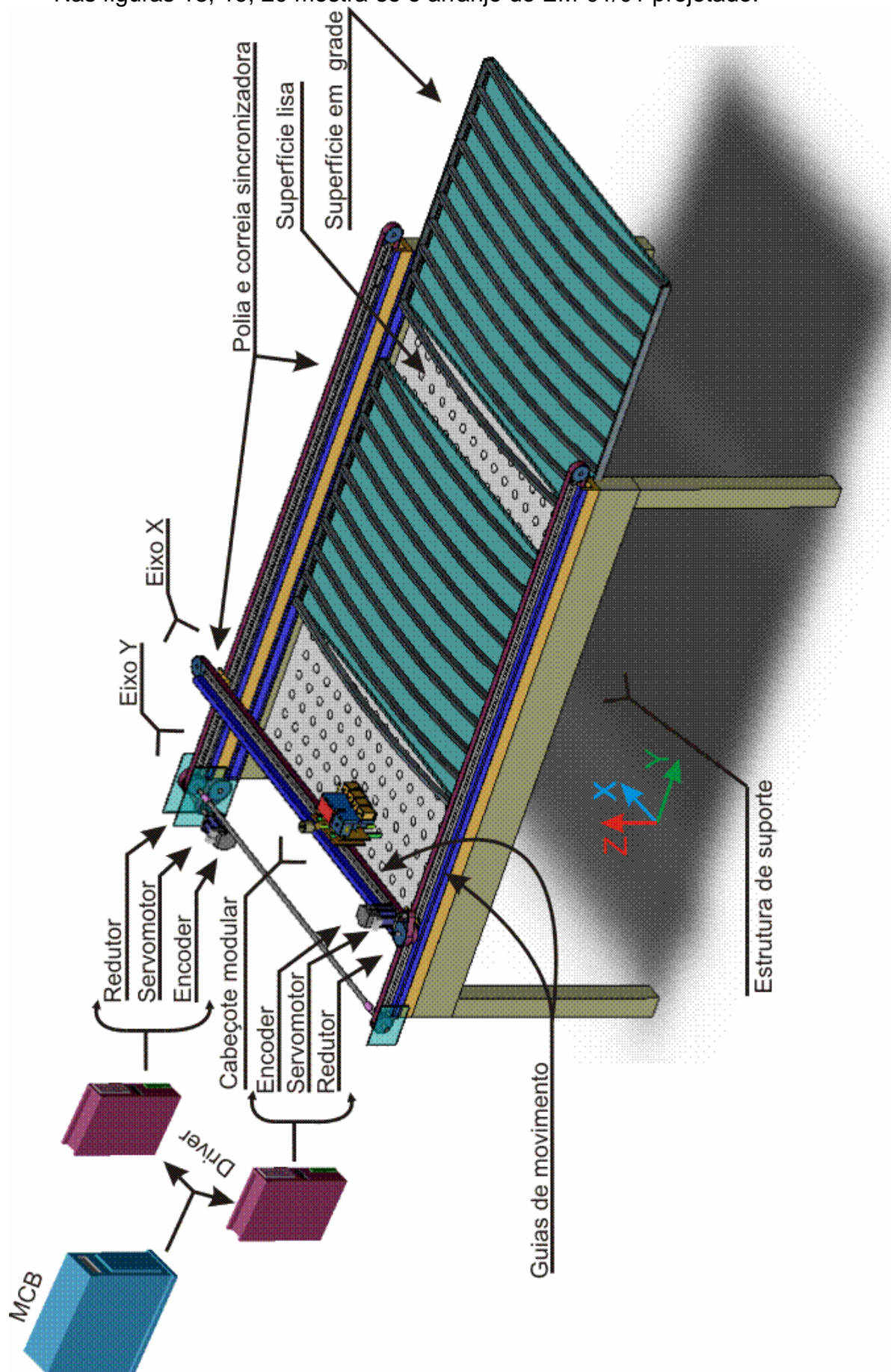


Figura 18 Arranjo selecionado para o EM-01/01.

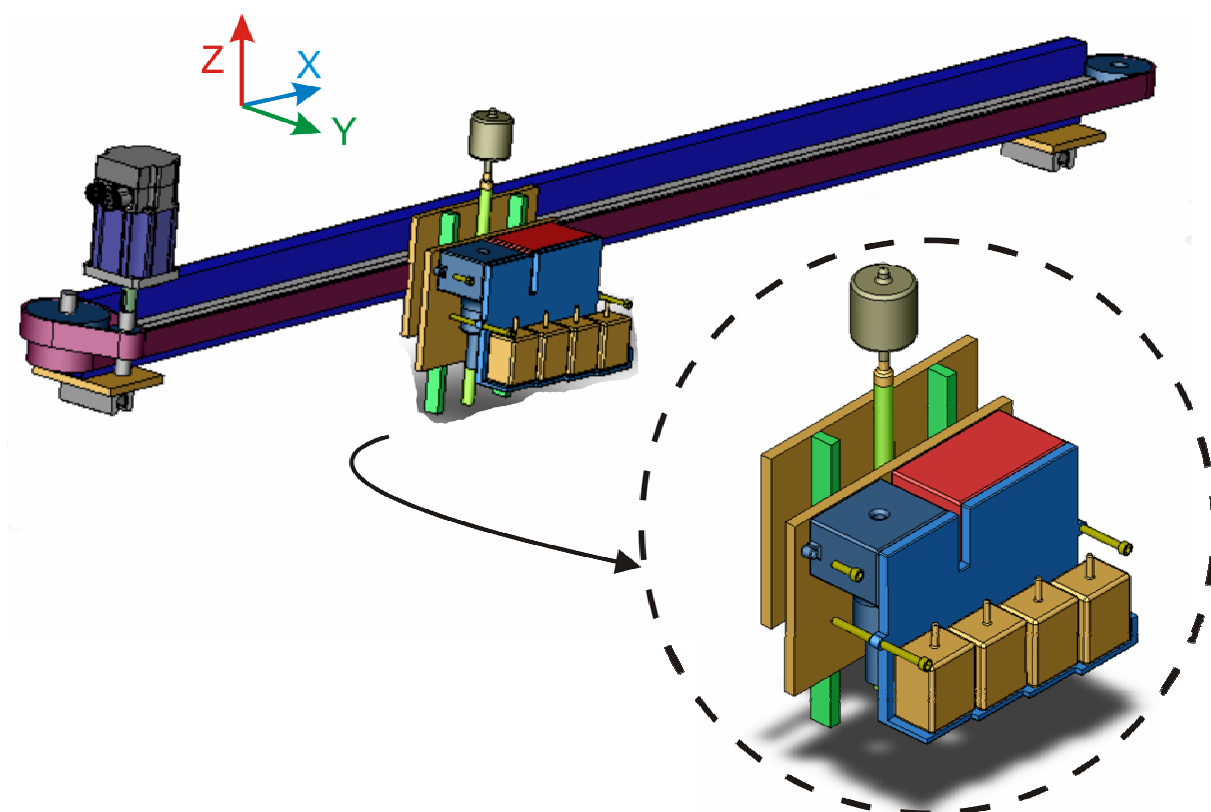


Figura 19 Arranjo eixo X do EM-01/01.

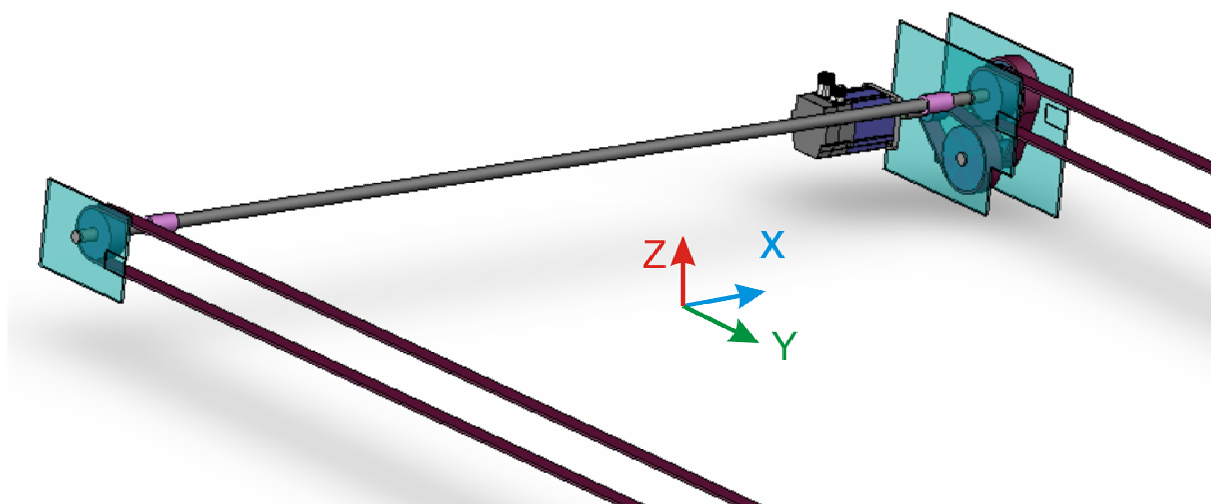


Figura 20 Arranjo eixo Y do EM-01/01.

Capítulo 4 **MODELAGEM E SIMULAÇÃO DINÂMICA DO EQUIPAMENTO**

4.1. Introdução

Um dos objetivos visados no estudo de modelagem dinâmica do EM-01/01 é obter uma melhor compreensão do comportamento dinâmico do sistema, interagindo como um todo. Tem-se, na simulação a possibilidade de mudar os parâmetros e partes, e confirmar se foi feita uma boa seleção e dimensionamento dos componentes do equipamento por parte do projetista.

Neste capítulo é mostrado o estudo da simulação feito no *software Simulink* para o protótipo do equipamento existente (DP-01/01 e DP-01/02) no LHW, analisando resultados e levando-os para o mais próximo possível dos resultados obtidos paralelamente pelo *software MAX (Measurement & Automation Explorer*, item 4.3.6) de ajuste de parâmetros da MCB da *National Instrument (NI)* usado neste equipamento. O objetivo desta comparação feito na DP-01/01 e DP-01/02 entre o estudo da simulação teórica (*Simulink*), com curvas reais de comportamento obtidas pelo MAX é certificar-se de ter feito uma boa seleção dos parâmetros a simular e da estrutura do diagrama de blocos representativo da simulação teórica. Outra das razões desta comparação e estudo da DP-01/01 e DP-01/02, é a necessidade de

obter-se valores de alguns parâmetros necessários aos modelos, mas que não são fornecidos pelos fabricantes, sendo obtidos através de medições experimentais na DP-01/02, e daí extrapolados para os parâmetros do EM-01/01. No anexo 7 apresenta-se a metodologia utilizada na obtenção destes parâmetros. Isto tudo baseia-se na semelhança construtiva entre um dos servoposicionadores da DP-01/02 e do EM-01/01 projetada.

4.2. Limitações do modelo usado na simulação dinâmica

As simulações dinâmicas apresentam limitações nos parâmetros e na escolha de quais subsistemas são simulados. O objetivo principal da simulação, visou apoiar a seleção e dimensionamento do servoacionamento com relação à planta mecânica do equipamento. Os servoacionamentos são a parte de maior importância para determinar o comportamento dinâmico do sistema, uma vez que é a parte que responde pela movimentação no equipamento e ainda devido a seu custo comparativamente elevado, não admitindo erros de projeto que obriguem à modificações futuras.

As limitações impostas na simulação são:

- Não foi modelado e simulado o comportamento discreto da MCB. Foi modelado desde a saída desta (referência de posição em volts) até a variável do movimento translativo (em mm) do cabeçote.
- Motivo da primeira limitação, é que a simulação foi feita em tempo contínuo tendo na realidade comportando discreto, com período de amostragem oriundo da MCB.
- Alguns parâmetros necessários nos modelos foram obtidos em medições experimentais na DP-01/02, e extrapolados para os parâmetros do EM-01/01 projetado.
- Foi simulado somente o eixo X, pela semelhança construtiva com os eixos do EM-01/01 projetado.
- São desprezadas as funções não lineares.

4.3. Estudo de caso da DP-01/02

Na tabela 26 apresentam-se as características da DP-01/02 no LHW, e na figura 19 dá-se uma vista do equipamento.

Tabela 26 Características construtivas da DP-01/02 no LHW.

Parte/fabricante		Modelo	Descrição
MCB <i>NI</i>		PCI-7344	Controla até 4 eixos; Máxima taxa de aquisição de sinais na realimentação é de 20MHz.; Tensão de saída ± 10 V.
Servoacionamento <i>Brushless, Driver</i>		Servomotor SWA 56-2,5-60	Torque do rotor 2,5 Nm. Corrente nominal 7.5 A. Potência nominal 1130 W.
		Servodriver SCA – 04.08/16	K _t : 0,33 Nm/A. K _c : 1,33 V/A.
Planta, parte mecânica. Módulos do fabricante SCHÜCO DESIGN.			
Item	Parte/fabricante		Descrição
1	Perfil de Alumínio		160*80, comprimento 4,0 m.
2	Castanhas		Tipo, esferas recirculantes.
3	Guia de precisão		Tipo, lineares cilíndricas.
4	Polias		Diâmetro 66 mm
5	Correia sincronizadora		Eixo X: Espessura 30 mm. Comprimento 8,5 m.
			Eixo Y: Espessura 50 mm. Comprimento 2,0 m.
6	Unidade acoplamento Servomotor		Eixo X: Com polia de Ø 66 mm.
			Eixo Y: Modulo unidade motriz.
7	Tracionador da correia		Com parafuso.
8	Redutor		No eixo Y, relação 3:1.
Peso total a movimentar no eixo X: 14,30 Kg.			
Peso total a movimentar no eixo Y: 118 Kg.			

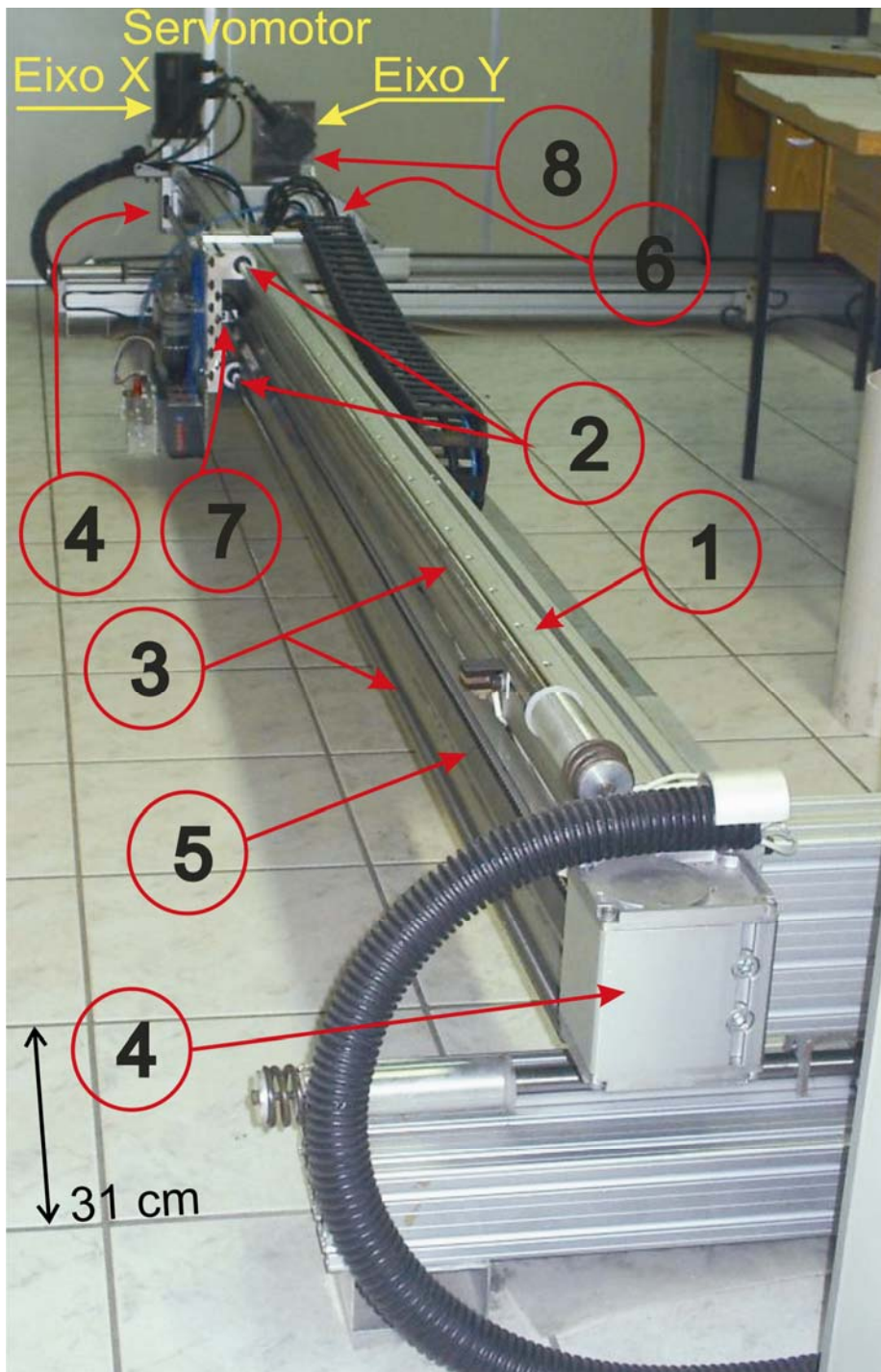


Figura 21 DP-01/02 no LHW.

4.3.1. Curva do PVM dos eixos

Mostra-se o porquê do uso e a maneira da escolha do PVM que foi usado na DP-01/02, já os cálculos de torque necessário e dos PVM dos eixos está no anexo 6, “Perfil de velocidade de movimento da DP-01/02”. O resumo destes cálculos para cada eixo é apresentado nas figuras 20 e 21, respectivamente.

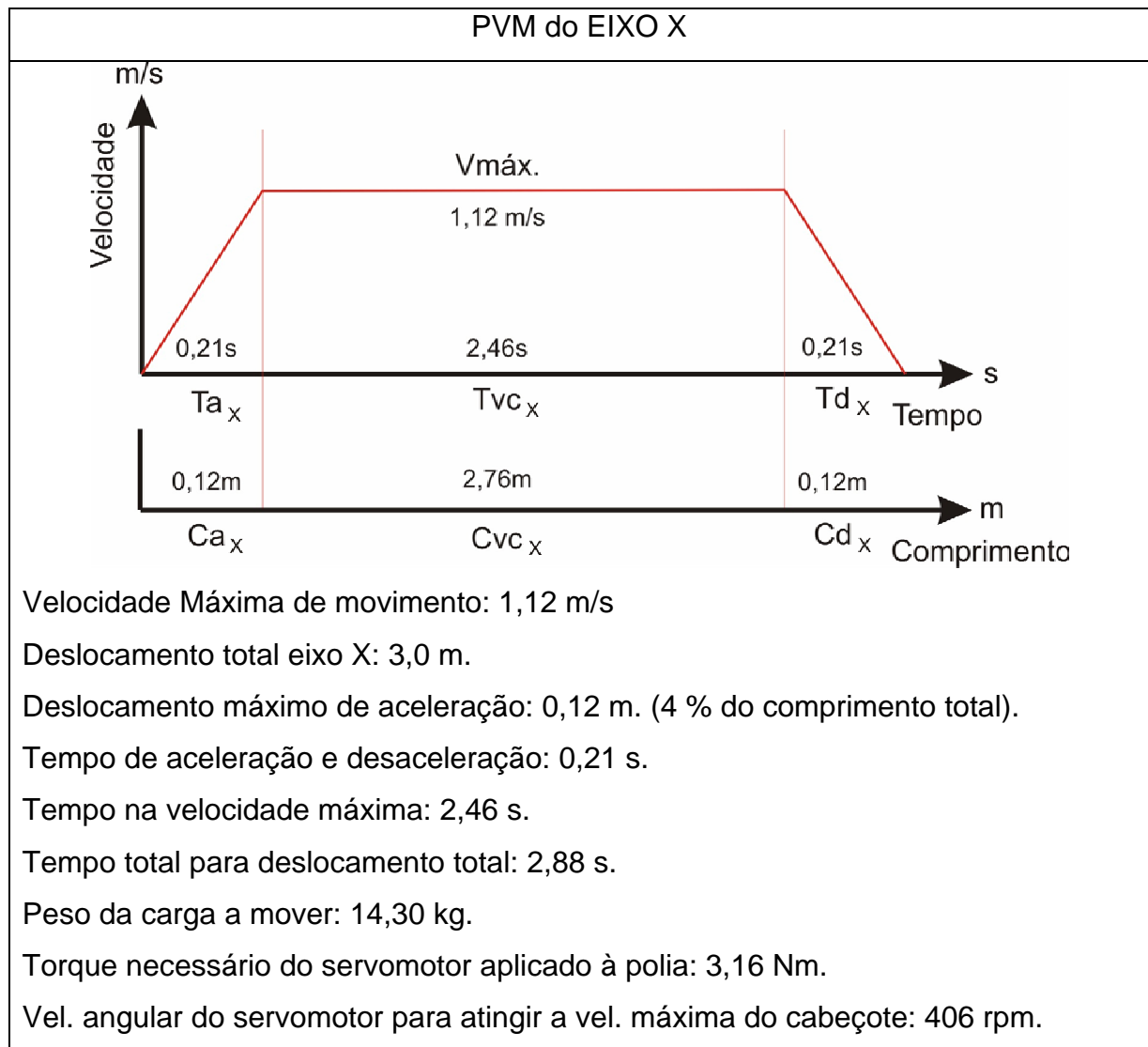


Figura 22 Requisitos do Servoacionamento do eixo X na DP-01/02.

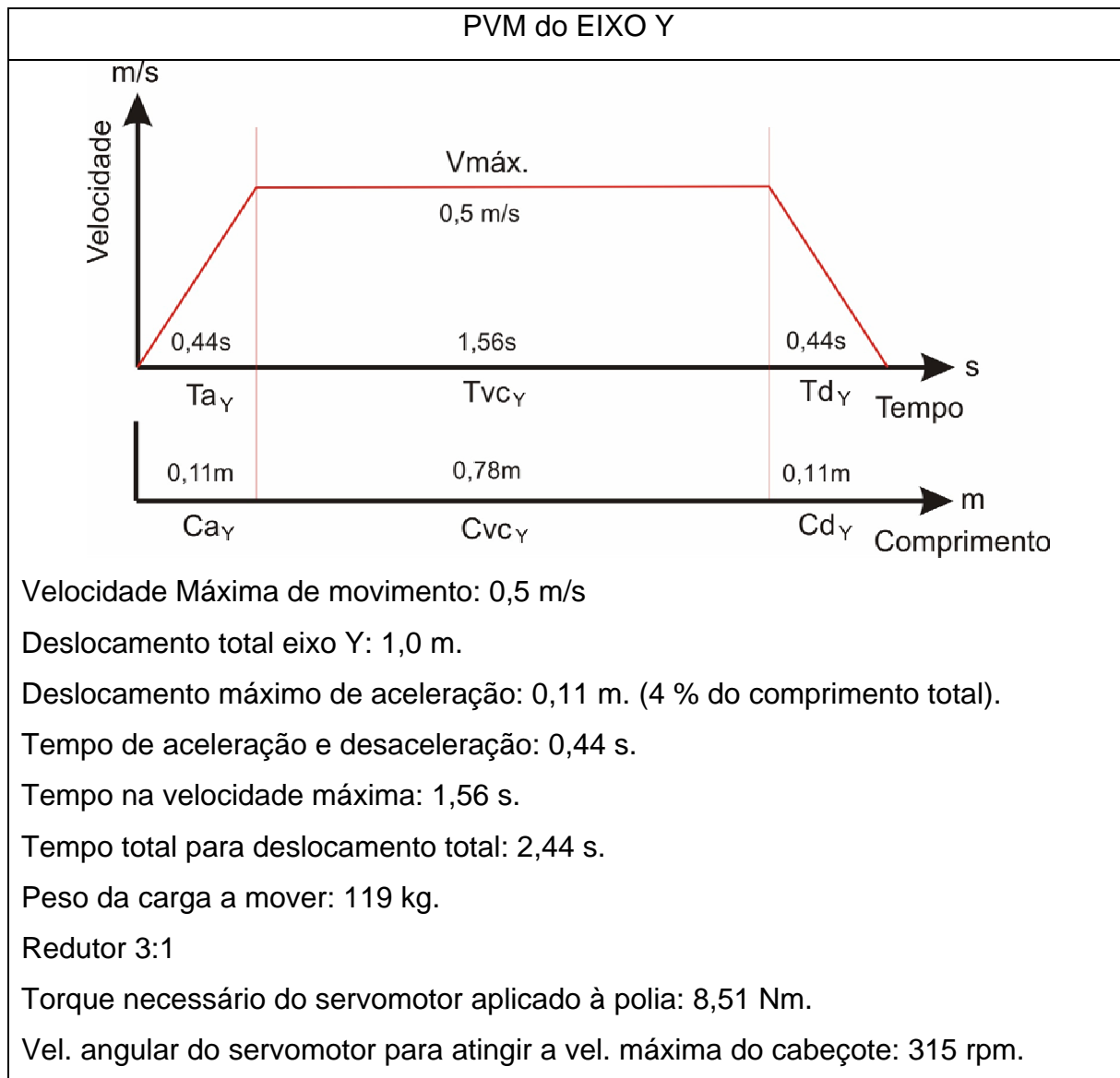


Figura 23 Requisitos do Servoacionamento do eixo Y na DP-01/02.

Conforme requisitos, o protótipo originalmente foi projetado para movimento alternativo seqüencial, quando as exigências do eixo Y não apontam para grande dinâmica de movimento. O PVM do equipamento PV-01/02 é dominado pelo comportamento do eixo Y; quer dizer, velocidade, aceleração e resolução de movimento são definidas para atender ao eixo Y, mesmo que se tenha o eixo X com muita melhor dinâmica. O eixo Y é o mestre sendo o eixo X escravo de Y, tendo que segui-lo, daí ter que ter muito melhor dinâmica.

4.3.2. Modelagem da DP-01/02

Conforme visto já no capítulo 3, os servoposicionadores mostrados nas figuras 20 (eixo X) e 21 (eixo Y) são constituídos pela MCB, *servodriver*, servomotor, e pela

planta, que varia segundo a escolha e montagem dos componentes mecânicos de movimentação translativa da DP-01/02, atendendo aos requisitos de projeto.

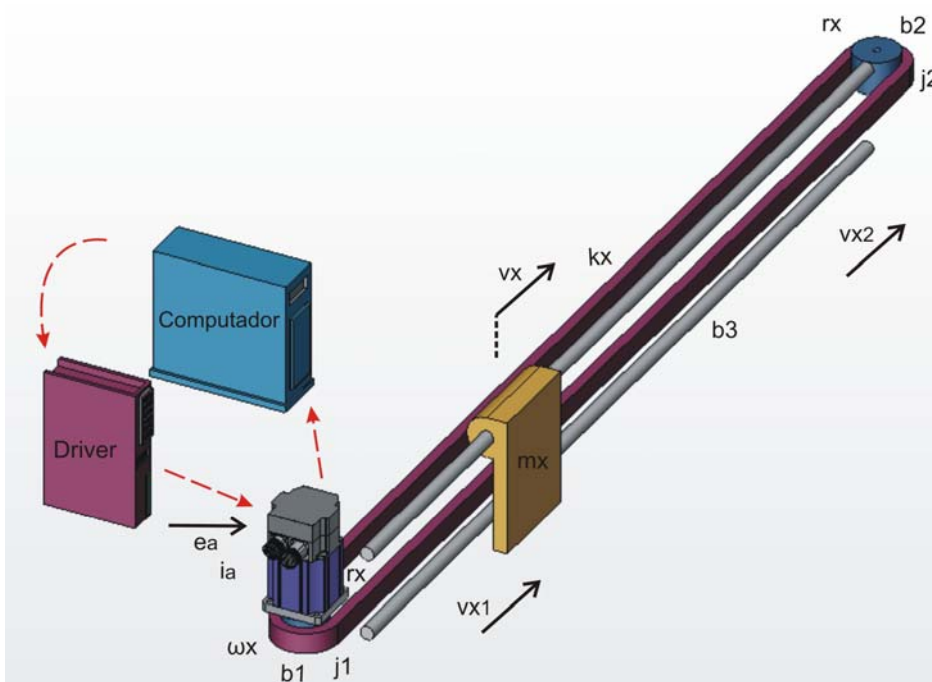


Figura 24 Componentes do eixo X da DP-01/02 (Burgoa, 2004).

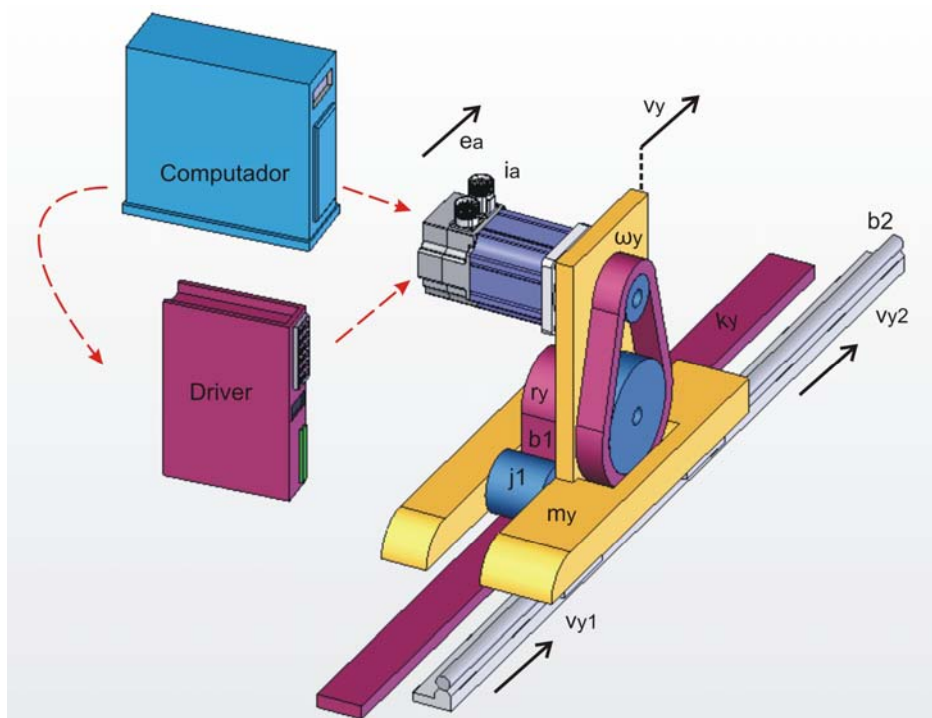


Figura 25 Componentes do eixo Y da DP-01/02.

Especificamente, o servoposicionador do eixo X é formado por um servoacionamento (servomotor *brushless* com seu *servodriver*) (figura 20) mais transmissão e guias. Uma polia dentada acoplada diretamente ao eixo do servomotor e envolta a ela uma correia sincronizadora com dentes de borracha e

alma de aço. Esta correia abraça uma segunda polia na unidade de desvio, no outro extremo da guia. No segmento da correia onde há movimento translativo está fixado o carro porta-cabeçote guiado por guias cilíndricas com esferas recirculantes.

Por sua vez, o acionamento do eixo Y (figura 21), é formado por um *servodriver*, um servomotor *brushless*, um sistema de transmissão de movimento constituído por três polias, duas das quais são auxiliares e a terceira localizada no centro do sistema a qual está acoplado o redutor de tipo polia e correia sincronizadora em anel e este conjunto acoplado ao servomotor. A correia sincronizadora com dentes de borracha e alma de aço se encontra fixada imóvel em seus extremos e o sistema de transmissão de movimento montado sobre a estrutura do eixo Y, móvel sobre guias cilíndricas com casquilhos de esferas recirculantes. O controle de posição é realizado por uma MCB da *NI* inserida no computador hospedeiro, à qual também é levada a realimentação fornecida pelos dois *encoders*, um em cada eixo, (Burgoa, 2004).

Com o sistema de controle em malha fechada pode-se alterar o comportamento dinâmico da planta, impondo aos eixos o desempenho desejado e personalizando a qualidade de movimento destes. As representações de cada eixo podem ser inseridas em forma esquemática em diagrama onde se mostra as principais partes do sistema de controle de movimento (figura 22).

O esquema da figura 22, é representativo de sistema completo em portico X-Y que pode ser aplicado tanto à DP-01/01, DP-01/02 ou EM-01/01.

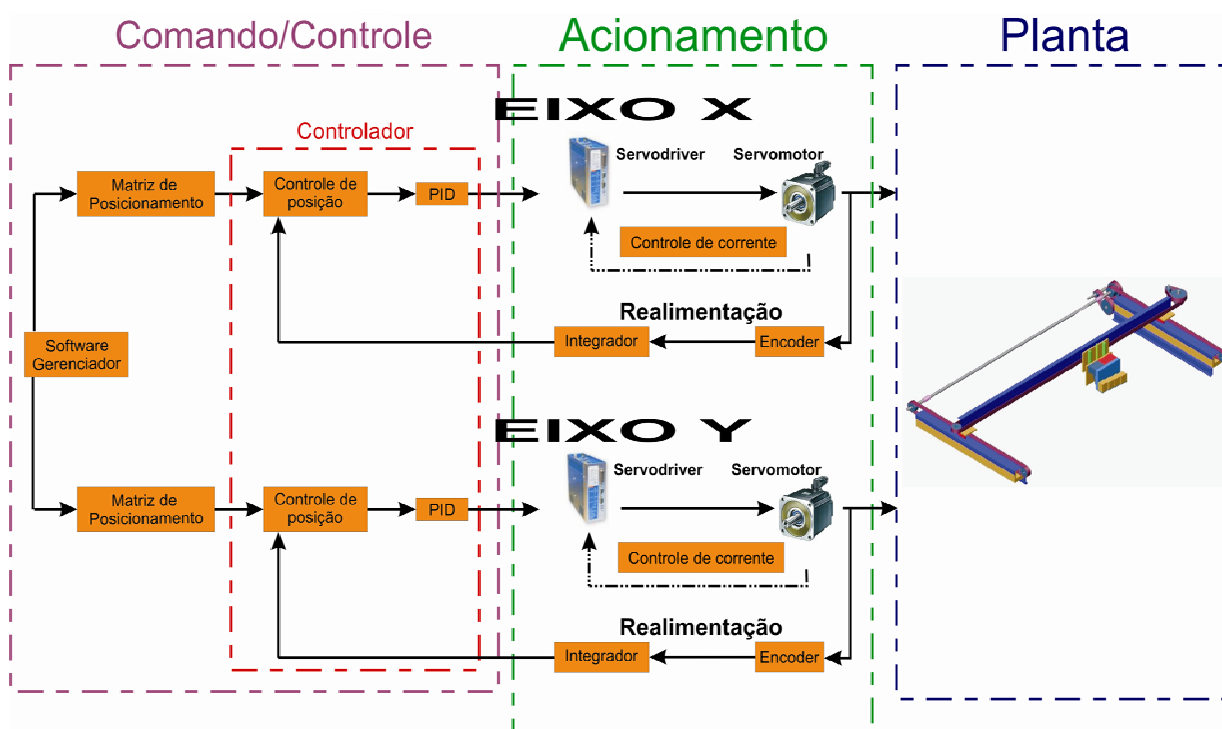


Figura 26 Esquema geral do sistema completo em pórtico X-Y.

Nesta figura apresenta-se os três grupos funcionais principais, e a malha de controle para cada eixo, onde:

Comando/Controle: Comanda/Controla todo o sistema de movimento. A MCB inserida no computador hospedeiro é configurada (por meio do software MAX), segundo os requisitos de projeto desejados (item 4.3.6 e anexo 8), permitindo que o software gerenciador (Capítulo 5) disposto na plataforma *Labview* comande os *servodrivers* dos servomotores, além dos sinais de leitura dos sensores da DP-01/02. Depois da decodificação do desenho e criada a matriz de dados de posicionamento de geração de trajetórias, esta matriz é passada à memória interna da MCB deixando o computador livre para processar mais informação sem interferir na realização da movimentação do sistema. É a MCB que fecha o laço de controle, com realimentação, com controlador PID.

Servoacionamento: Conjunto constituído do *servodriver* e servomotor, recebe os sinais do Comando/Controle e impõe a corrente para ao servomotor produzir o torque necessário à movimentação na planta até uma posição desejada seguindo um PVM imposto.

Planta: Constituída pelo arranjo dos dispositivos mecânicos que compõe a DP-01/02. Para uma análise do comportamento dinâmico do sistema este esquema é adequado. Segue-se a obtenção do modelo do sistema do qual é possível extrair uma solução com os *softwares* de simulação de sistemas dinâmicos atuais.

O passo básico para obter um modelo a partir de informação dos parâmetros físicos concentrados e de seu arranjo estrutural pode ser obtido para sistemas escalares (não vetoriais) usando o método de elementos de circuitos generalizado (Shearer, 1967). Com esta metodologia ficam representados fluxos de energia por pares de variável entre os seus elementos; mais detalhes no anexo 5.

A seguir especifica-se o estudo do eixo X na DP-01/02, dada sua semelhança construtiva com os eixos projetados para o EM-01/01. O modelo inicial da planta para o eixo X, baseado em elementos de circuito, apresenta-se na figura 23. Na tabela 27 lista-se as grandezas usadas na figura 23. Até aqui a representação só considerou um servomotor CC com escovas, sem seu *servodriver*, acoplado à

mecânica e não um servoacionamento *brushless* programado no modo torque; mais à frente será trazida a modelagem deste.

Eixo X

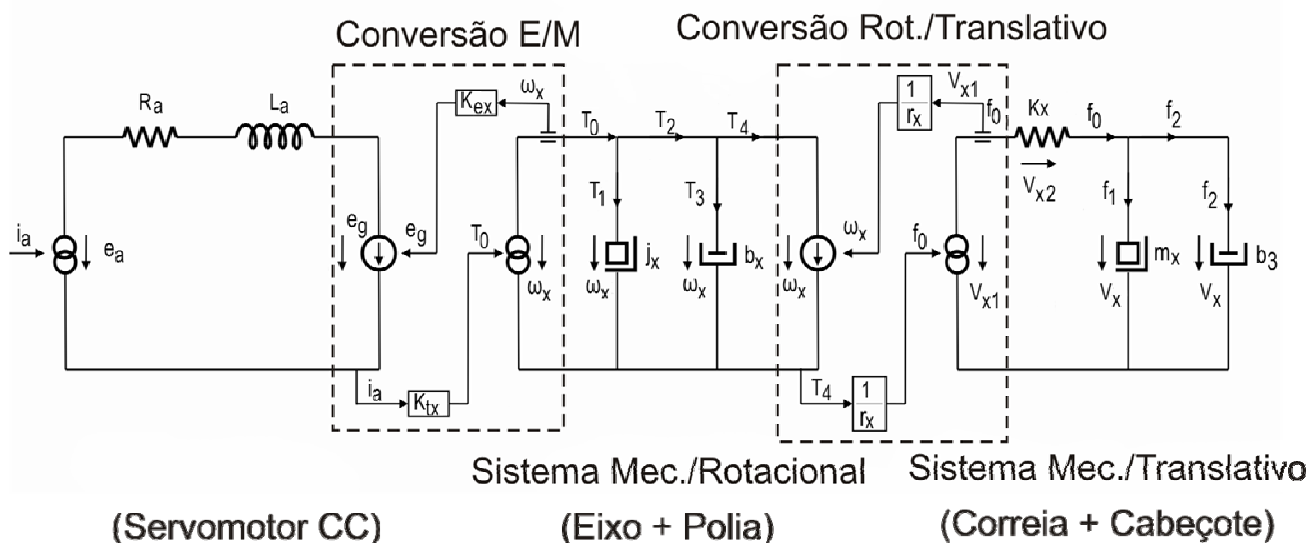


Figura 27 Modelo eletro-mecânico do eixo X da DP-01/02 utilizando elementos de circuito (Burgoa, 2004).

Tabela 27 Grandezas usadas na figura 27.

Símb.	Definição	Unidade
SERVOMOTOR		
e_a	Tensão aplicada na armadura do servomotor.	V
e_g	Força contra eletro-motriz gerada do servomotor.	V
i_a	Corrente de alimentação no enrolamento da armadura do servomotor.	A
L_a	Indutância do enrolamento da armadura do servomotor.	H
R_a	Resistência do enrolamento da armadura do servomotor.	Ω
FATORES DE CONVERSÃO E/M		
K_{ex}	Constante de força contra-eletromotriz.	V/(rad/s)
K_{tx}	Constante de torque do servomotor.	Nm/A
EIXO MOTOR COM A POLIA		
b_{2x}	Coeficiente atrito viscoso nos mancais da polia acoplada ao servomotor.	Nm/(rad/s)
b_{mx}	Coeficiente de atrito viscoso nos mancais do servomotor.	Nm/(rad/s)
b_x	Coeficiente de atrito viscoso total no eixo do servomotor = $b_{mx} + b_{2x}$	Nm/(rad/s)
j_{mx}	Momento de inércia do eixo do servomotor.	kg m ²
j_{px}	Momento de inércia da polia e acoplamento.	kg m ²

Símb.	Definição	Unidade
j_x	Momento de inércia total no eixo do servomotor = $j_{mx} + j_{px}$	kg m^2
T_0	Torque eletromecânico do servomotor.	Nm
T_1	Torque de inércia total no eixo do servomotor.	Nm
T_2	Torque disponível no eixo do servomotor.	Nm
T_3	Torque de atrito viscoso total no eixo do servomotor.	Nm
T_4	Torque líquido disponível para movimentar a carga.	Nm
ω_x	Velocidade angular da polia acoplada ao eixo do servomotor.	rad/s
FATOR DE TRANSMISSÃO		
r_x	Raio da polia acoplada ao servomotor.	m
CORREIA MAIS CABEÇOTE		
b_{2x}	Coeficiente de atrito viscoso na polia de desvio no eixo X.	Nm/(rad/s)
b_3	Coeficiente de atrito viscoso nos casquilhos de esferas recirculantes.	Nm/(rad/s)
f_0	Força total aplicada à correia.	N
f_1	Força para movimentar a massa total a ser transportada.	N
f_2	Força para vencer o atrito viscoso dos casquilhos de esferas.	N
K_x	Constante de elasticidade da correia sincronizadora.	N/m
m_x	Massa total sobre as guias.	kg
V_x	Velocidade do dispositivo de impressão no eixo X.	m/s
V_{x1}	Velocidade da correia tangente à polia acoplada ao servomotor.	m/s
V_{x2}	Variação da velocidade ao longo da correia considerada como mola.	m/s

4.3.3. Modelagem do servoacionamento na DP-01/02

No modelo dinâmico do servomotor mostrado na figura 23 utilizou-se o método elementos de circuito (da DP-01/02) representando fluxo de energia. Esta representação pode ser transformada em bloco-diagrama funcional (figura 24) representando então no fluxo de sinais. Sua interpretação é mais fácil e permite redução do número de elementos até um único bloco que é a função transferência entre a variável de saída indicada (ω) pela variável de entrada considerada (e_a). Na tabela 28 lista-se as grandezas usadas na figura 24. Na vasta literatura p/ex. (Unbehauen (1996), Cabrera (2005)), utiliza-se a representação do tipo bloco-diagrama funcional (figura 24) para a modelagem e análise dinâmica do *servodriver* através de simulações.

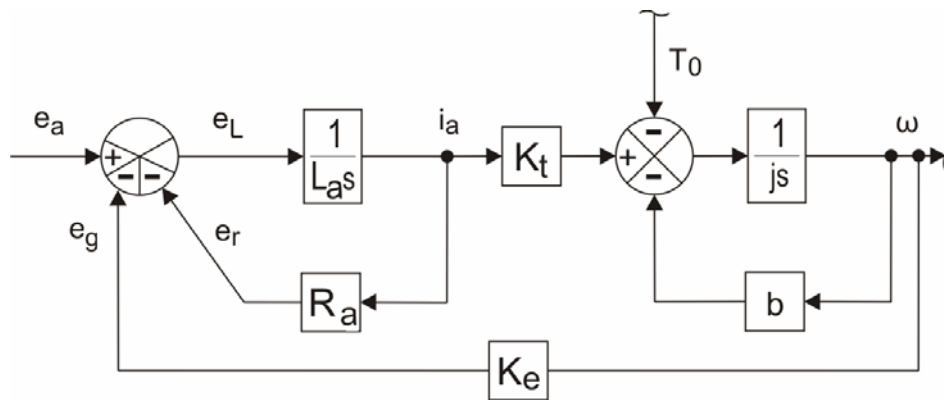


Figura 28 Modelo eletro-mecânico do servomotor, em bloco-diagrama funcional.

Na modelagem simplificada do *servodriver* (figura 25) é necessário pelo menos relacionar a tensão aplicada à armadura do servomotor ao sinal de comando na entrada do *driver* e_c .

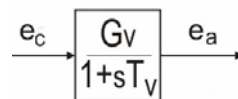


Figura 29 Diagrama de blocos do *servodriver*.

Segundo os autores citados, o diagrama de blocos do servoacionamento com entrada em tensão fica então como apresentado na figura 26. Na mesma tabela 28 lista-se as grandezas usadas também na figura 26.

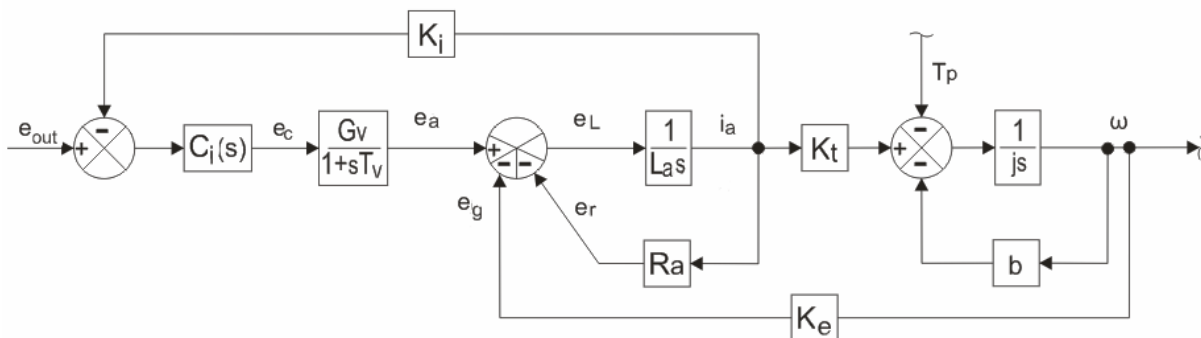


Figura 30 Diagrama de blocos do servoacionamento (Unbehauen, 1996).

Tabela 28 Grandezas usadas nas figuras 28, 29 e 30.

Símb.	Definição	Unidade
b	Coeficiente de atrito viscoso total no eixo do servomotor	Nm/(rad/s)
$C_{i(s)}$	Regulador de corrente	
e_a	Tensão aplicada na armadura do servomotor	V
e_c	Tensão de comando aplicada no <i>driver</i>	V
e_g	Tensão da força contra eletro-motriz gerada	V
e_L	Tensão aplicada no indutor	V
e_{out}	Tensão de referência	V
e_r	Tensão aplicada no resistor	V
G_v	Ganho do <i>driver</i>	
i_a	Corrente de alimentação no enrolamento da armadura	A
j	Momento de inércia total no eixo do servomotor	kg m ²
K_e	Constante de tensão da força contra-eletromotriz no eixo	V/(rad/s)
K_i	Tradutor da corrente de alimentação à armadura	V/A
K_t	Constante de torque do servomotor no eixo	Nm/A
L_a	Indutância do enrolamento da armadura	H
R_a	Resistência do enrolamento da armadura	Ω
T_p	Torque de distúrbio	Nm
T_v	Constante de tempo do <i>driver</i>	s
ω	Velocidade angular no eixo do servomotor	rad/s

A constante de tempo no modelo do *driver* T_v da figura 26 está entre 10^{-5} e 10^{-4} segundos, e pode ser desprezada pela taxa da frequência da comutação PWM que está entre 10 kHz e 100 kHz. Nas próximas figuras (27 e 28) mostram-se as duas configurações mais usadas em sistemas de movimentação eletro-mecânica por meio de servomotores, que são os modos comando em velocidade e comando em torque do servoacionamento. Na tabela 29 lista-se as grandezas usadas nas figuras 27 e 28.

No comando em velocidade e_{out} é um sinal de tensão que representa uma informação de VELOCIDADE de referência já no modo em torque e_{out} é também sinal de tensão, mas portando informação de TORQUE de referência.

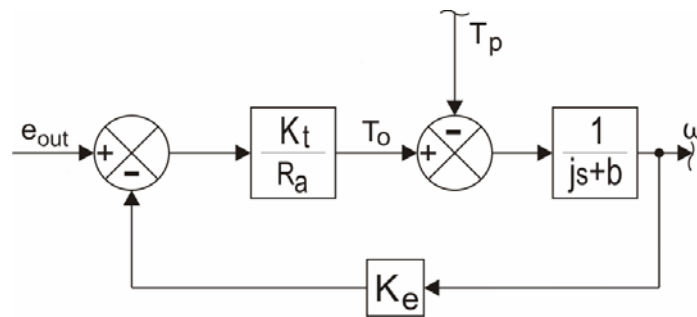


Figura 31 Diagrama de blocos de um servoacionamento no modo comando em velocidade.

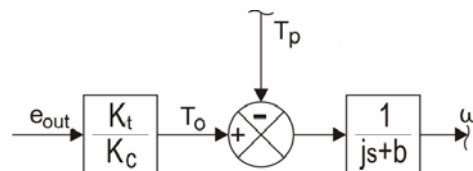


Figura 32 Diagrama de blocos de um servoacionamento no modo comando em torque.

Tabela 29 Grandezas usadas nas figuras 31 e 32.

Símb.	Definição	Unidade
b	Coeficiente de atrito viscoso total no eixo do servomotor.	Nm/(rad/s)
e_{out}	Tensão de referência (velocidade ou torque).	V
j	Momento de inércia total no eixo do servomotor.	kg m ²
K_c	Transdutor da corrente de alimentação à armadura.	V/A
K_t	Constante de torque no eixo do servomotor.	Nm/A
R_a	Resistência do enrolamento da armadura.	Ω
T_o	Torque interno no eixo do servomotor.	Nm/A
T_p	Torque de distúrbio.	Nm
ω	Velocidade angular no eixo do servomotor.	rad/s

A configuração escolhida, segundo a exigência de projeto (item 3.4, tabela 25), usando um servoacionamento no modo torque, fica reduzida como apresentada na figura 29 que é o modelo em bloco-diagrama sempre é do eixo X. Até agora não foi ainda inserido o bloco de controle.

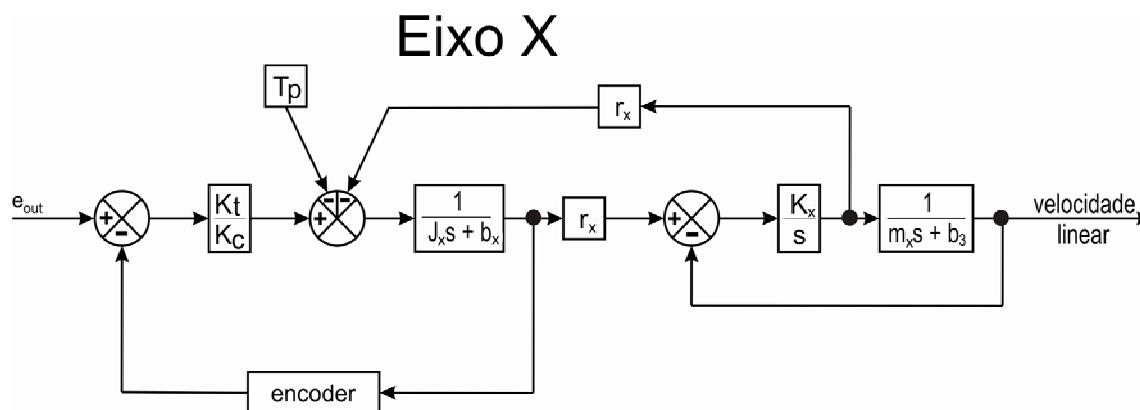


Figura 33 Bloco-diagrama funcional do servoposicionador do eixo X.

O parâmetro T_p (anexo 7), que é o torque de perturbação, é produzido pela ação de esticamento da correia na montagem do eixo X, e é proporcional à multiplicação da constante de elasticidade da correia pela distância de deslocamento produzido no sistema tensor.

4.3.4. Modelagem do controlador

O controle dos elementos mecânicos da DP-01/02 unidos a elementos eletrônicos fornece autonomia, versatilidade e dinamismo ao processo. A modificação dos parâmetros físicos que atuam na planta permite alterar o comportamento cinemático e dinâmico do sistema de posicionamento, protegendo-o de perturbações, respostas de movimento lentas, imprecisão, instabilidade, vibrações e erros de posição, tornando o trabalho da DP-01/02 auto-regulada e ou auto-gerenciada.

Existem diversas técnicas desenvolvidas de controle de movimento, com diferentes níveis de complexidade que satisfazem os mais abrangentes critérios existentes em projeto. Segundo Unbehauen (1996) (tabela 30) classificou os controladores em convencionais e avançados baseados na aceitação de controladores na indústria.

Tabela 30 Classificação dos controladores.

Projeto		Tipo de controlador
Convencional		Manual. PID. Proporcional. Em cascata. Feedforward.
Avançado	Clássico	Escalonamento de ganhos. Compensação do atraso de transporte. Controle desacoplado.
	Com aplicações	Preditivo. Modelo interno. Adaptativo. Nebuloso.
	Poucas aplicações	Não-linear. Ótimo. Robusto. Inteligente (neural e evolutivo).

Na escolha do tipo de controlador pode-se mencionar, p/ex.: dinâmica do sistema, tratamento dos processos complexos nas não-linearidades, a complexidade das entradas e saídas com o conhecimento adequado dos parâmetros interagindo, número de parâmetros a controlar, robustez, tipo de estrutura, numero de graus de liberdade e aprimoramento de sistemas de controle.

Segundo Gerry (2000) os controladores PID são o tipo mais usado na industria de controle de equipamentos. Perto do 95% dos laços de controle são PID, mas existem muitas possibilidades de combiná-lo, como: PID, em serie, em paralelo, feedforward, ideal, industrial, com um ou dois graus de liberdades, interatuantes e não, clássico, de ganho independente, padrão, ISA, PI-D, I-PD, tipo A, B e C ou a mistura destes.

O controlador usado nas DP-01/01, DP-01/02 e o EM-01/01 é de tipo PID convencional (anexo 8), constituído pela soma de três componentes: Proporcional K_p , integral K_i e derivativa K_d , dispostas em forma paralela. Segundo a NI (fabricante da MCB) e levado ao caso do eixo X da DP-01/02, sua modelagem pode ser apresentada como na figura 30. Aqui a realimentação de posição é indireta, pela leitura do deslocamento angular do eixo do motor. Na tabela 31 lista-se as grandezas usadas na figura 30.

No anexo 8 apresenta-se e explica-se o algoritmo de controle implementado no controlador de movimentos.

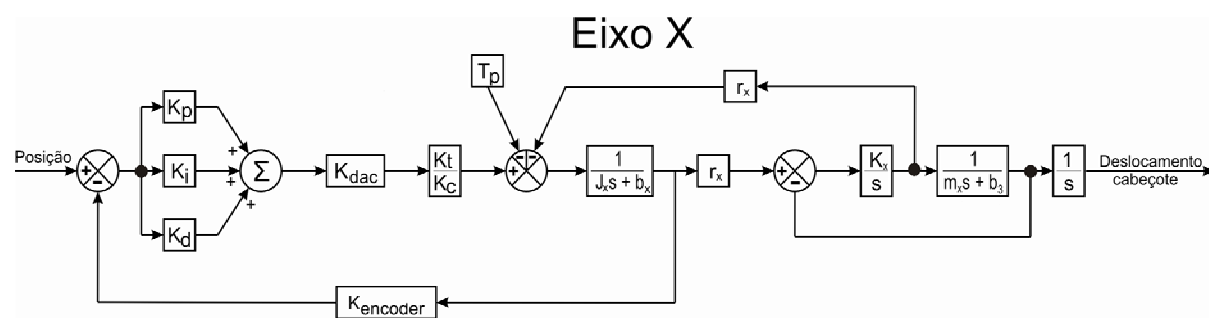


Figura 34 Bloco-diagrama funcional do Eixo X da DP-01/02 com o controlador PID inserido.

Tabela 31 Grandezas usadas na figura 34.

Símb.	Definição	Unidade
EIXO X da DP-01/02 COM CONTROLADOR PID		
b_3	Coeficiente de atrito viscoso nos casquilhos de esferas recirculantes.	Nm/(rad/s)
b_x	Coeficiente de atrito viscoso total no eixo do servomotor.	Nm/(rad/s)
j_x	Momento de inércia total no eixo do servomotor.	kg m ²
K_c	Transdutor da corrente de alimentação à armadura.	V/A
K_d	Constante derivativa.	-----
K_{dac}	Conversor de sinal digital a sinal analógico.	-----
$K_{encoder}$	Constante do <i>encoder</i> .	Pulso/rot
K_i	Constante integral.	-----
K_p	Constante proporcional.	-----
K_t	Constante de torque no eixo do servomotor.	Nm/A
K_x	Constante de elasticidade da correia sincronizadora.	N/m
m_x	Massa total sobre as guias.	kg
r_x	Raio da polia acoplada ao servomotor.	m
T_p	Torque de distúrbio.	Nm

O servomotor precisa estar conectado ao *servodriver* que lhe entrega energia elétrica. Esta recebe da MCB informação de posição em unidades de tensão na faixa padrão de ± 10 V, e impõe corrente ao servomotor, necessária para executar os movimentos. No seu trabalho Hugh (2004), documenta e explica como a saída de tensão da MCB (inserida no computador hospedeiro) porta informação de posição (entrada no bloco-diagrama da figura 30) e que é convertida pelo servoacionamento em torque.

Na figura 31 é apresentado o diagrama de blocos funcional completo dos eixos da DP-01/02, indicando a evolução das grandezas físicas ao longo dos blocos do sistema, com entrada de ± 10 V portanto informação de posição angular (rad), *servodriver*, servomotor e planta, com saída em posição translativa.

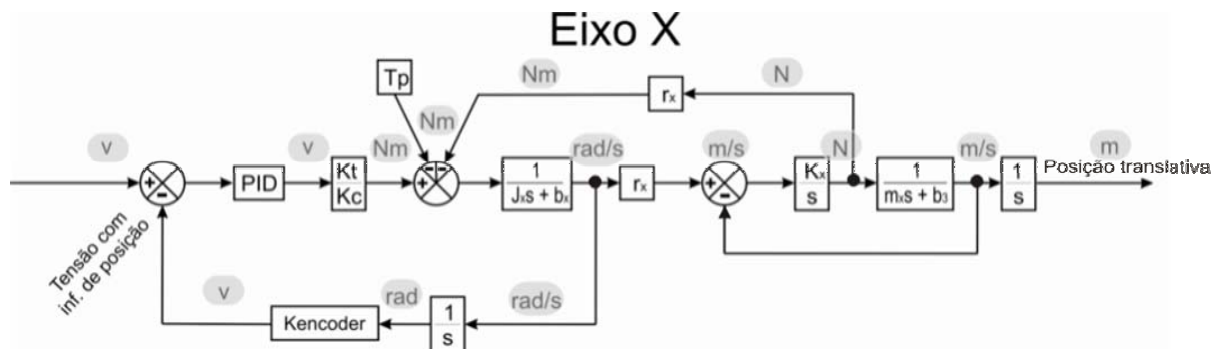


Figura 35 Bloco-diagrama funcional do Eixo X da DP-01/02 com respectivas grandezas físicas.

4.3.5. Simulações com o modelo dinâmico

O software usado para a simulação foi Simulink–Matlab da marca *MathWorks*; é uma plataforma para simulação multitecnológica e desenvolvimento de modelos para sistemas dinâmicos. Apresenta ambiente gráfico interativo e bibliotecas que podem ser ampliadas para aplicações específicas.

Na figura 32 é apresentado o modelo do eixo X na DP-01/02, como programado graficamente no software Simulink. Na tabela 32 lista-se as grandezas usadas nas figuras 32.

Tabela 32 Grandezas usadas na DP-01/02 apresentadas na figura 36.

Simb.	Definição, eixo X	Unidade
k_{tx}	Constante de torque do servomotor no eixo	Nm/A
k_{cx}	Tradutor da corrente de alimentação à armadura	V/A
j_x	Momento de inércia total no eixo do servomotor	kg m ²
b_x	Coef. de atrito viscoso total no eixo do servomotor	Nm/(rad/s)
r_x	Raio da polia acoplada ao servomotor	m
k_x	Constante de elasticidade da correia sincronizadora	N/m
m_x	Massa total sobre as guias	kg
b_3	Coef. de atrito viscoso nas casquilhos de esferas recirculantes	N/(m/s)
T_p	Torque de distúrbio	Nm

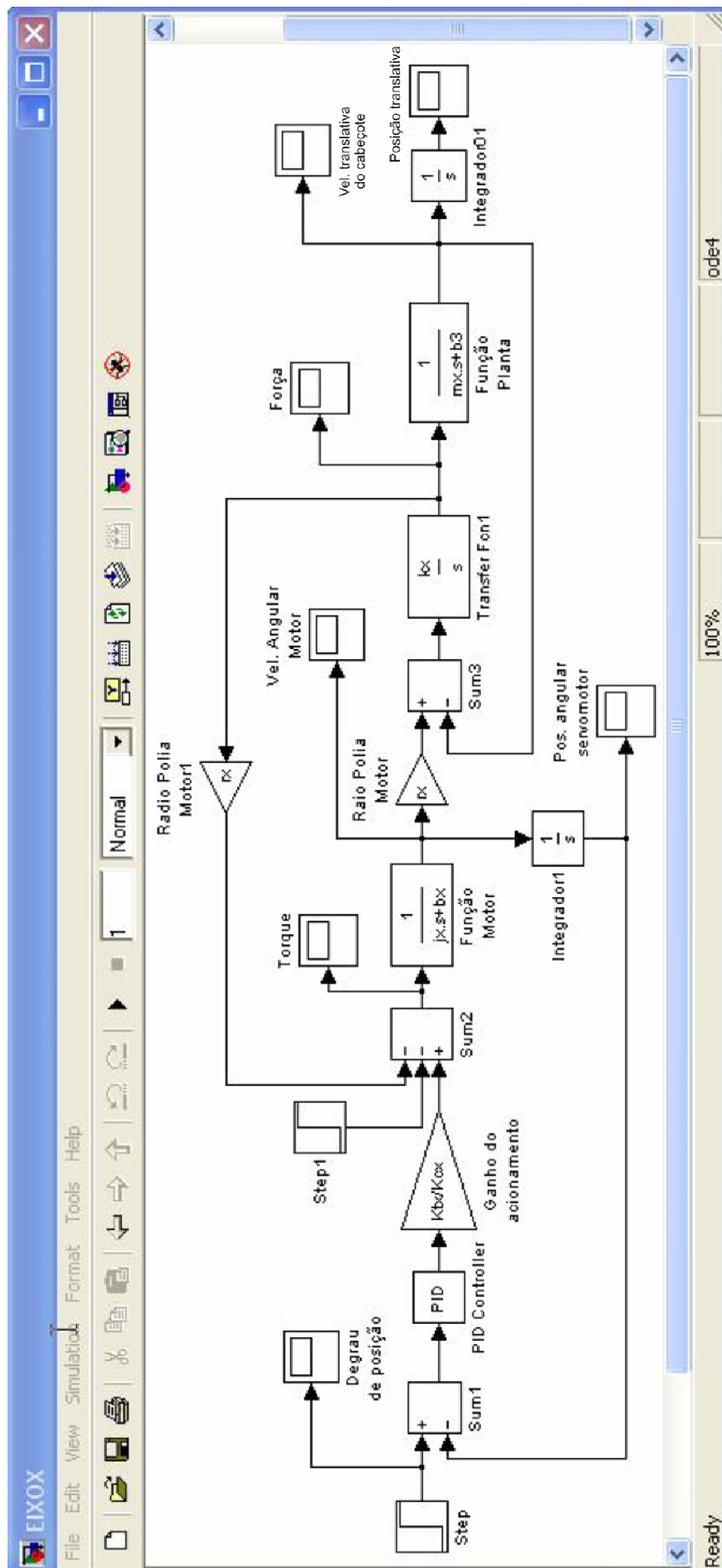


Figura 36 Modelo dinâmico do eixo X da DP-01/02 implementado no Simulink.

A tabela 33 apresenta-se os valores dos coeficientes utilizados na simulação do eixo X, usados na figura 32. No anexo 6 e 7 apresenta-se a metodologia usada na obtenção dos valores dos coeficientes introduzidos no modelo dos eixos. O servoacionamento usado é da marca WEG, Servomotor *Brushless* SWA 56-2,5-60, *Servodriver* SCA-04.08/16 (características do servomotor já listadas na tabela 26).

Tabela 33 Coeficientes necessários na simulação do eixo X.

Coeficiente	Valor	Unidade	Localização do calculo
Ktx	0,33	Nm/A	Tabela 21
Kcx	1,33	V/A	Tabela 21
Jx	0,00105	kg m ²	Anexo 6 e 7
Bx	0,03345	Nm/(rad/s)	Anexo 6 e 7
Rx	0,0331	m	Anexo 6 e 7
Kx	232486	N/m	Anexo 6 e 7
Mx	14,3	kg	Anexo 6 e 7
b3	10,91	N/(m/s)	Anexo 6 e 7
Tp	0,993	Nm	Anexo 6 e 7

Na tabela 34 reapresenta-se o resumo dos requisitos que os resultados das simulações da DP-01/02 têm que atingir, requisitos extraídos do trabalho de Burgoa (2004), mas adaptados ao movimento vetorizado usado no projeto do EM-01/01. O motivo da adaptação dos dados a este tipo de movimento é a exigência da operação conjunta em ambos os eixos (interpolando-se). A definição correta destes requisitos apresenta vários aspectos, como p/ex, na área de projetos destes tipos de equipamentos, uma ótima escolha do PVM (Figura 22 e 23) e dos parâmetros físicos e valores escolhidos para a simulação dinâmica, etc. Tudo isto, visando o processo de aproveitamento de conhecimento do comportamento da DP-01/02 obtido nos resultados do item 5.6 “Testes técnicos aplicados na DP-01/02”.

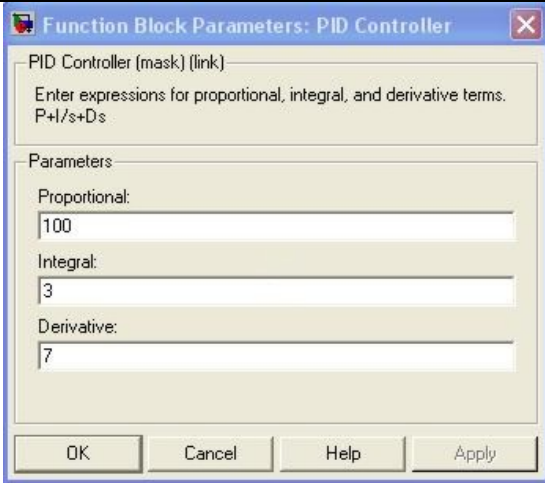
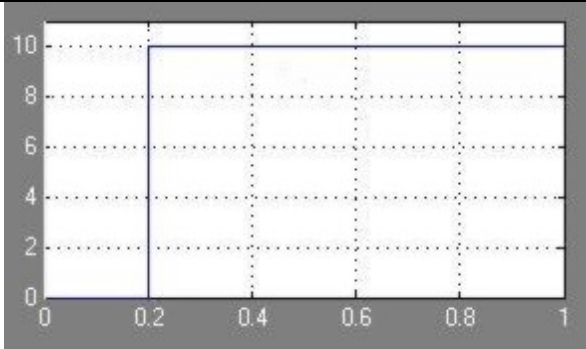
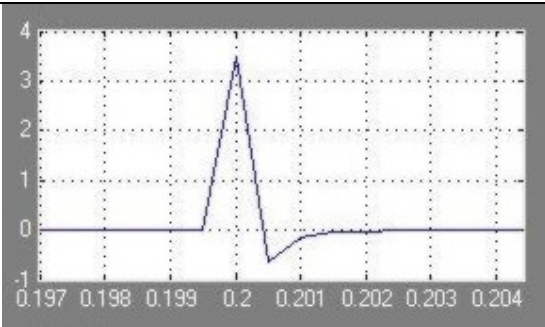
Tabela 34 Especificações necessárias na simulação do eixo X.

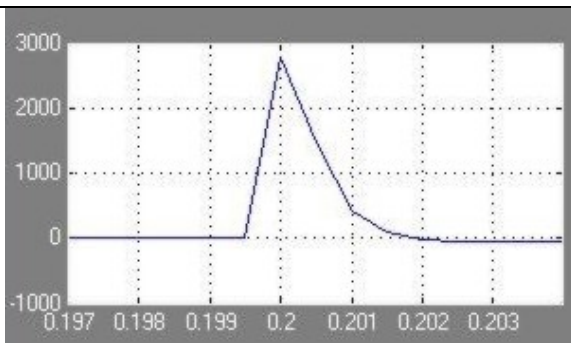
Coeficiente	Valor	Unidade
t_{sx}	0,21	s
M_{px}	0 a 1	%
e_x	0,03	mm

As grandezas: e_x (erro de posicionamento no regime permanente, medido em mm), t_{sx} (tempo de resposta da posição angular do servomotor, medido em segundos) e M_{px} (máximo de sobrepassagem na posição angular do servomotor, dado em por cento) são explicados no anexo 8, e discutidos no item 4.3.6 “Ensaio da DP-01/02 com o software MAX”.

Os gráficos obtidos da simulação por meio do software *Simulink* para o eixo X são apresentados na tabela 35. Ali são comparados com a tabela 34 “especificações necessárias na simulação do eixo X”.

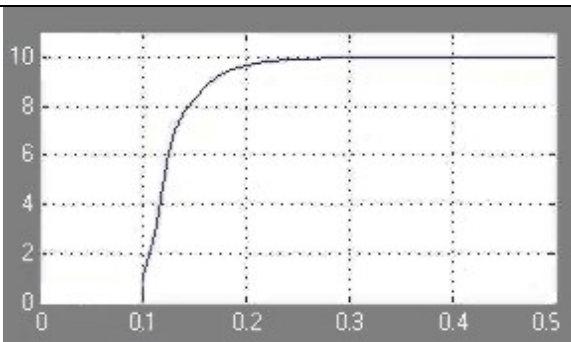
Tabela 35 Resposta ao degrau do modelo dinâmico do eixo X da DP-01/02.

	<p>Mostram a janela de entrada para os parâmetros de controle que permitem posicionar dentro da faixa definida pelos requisitos de projeto.</p>
Parâmetros PID escolhidos.	
	<p>Sinal de entrada em tensão ± 10 V, com informação da posição.</p>
Degrau de posição.	
	<p>Torque no eixo do servomotor, (valor menor do que a máxima capacidade especificada pelo fabricante).</p>
Torque no servomotor.	



Velocidade angular no eixo do servomotor, (valor menor do que a máxima capacidade especificada pelo fabricante).

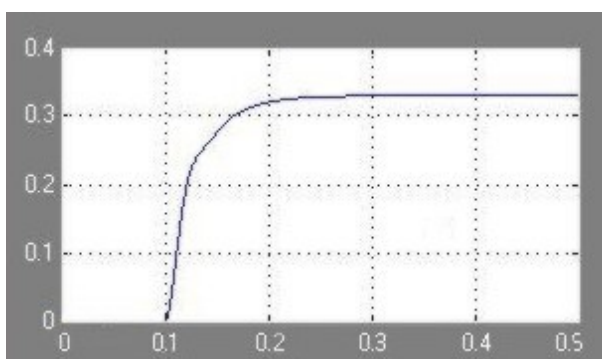
Velocidade angular do servomotor.



O tempo de resposta da posição angular (tempo de subida); está na ordem de 0,21 s.

Sobrepasse na posição angular do servomotor, é menor que 1%.

Posição angular do servomotor.



O posicionamento translativo do cabeçote:

No regime transitório não apresenta oscilação, não sendo afetada pela elasticidade da correia.

No regime estacionário não apresenta oscilação indicando que o sistema mantém seu controle depois de atingida a posição programada. O erro de posicionamento a regime permanente é menor a 0,03 mm.

Posição translativa no cabeçote.

4.3.6. Ensaios da DP-01/02 com o software MAX

O MAX (*Measurement & Automation Explorer*) é um aplicativo para a programação da MCB do fabricante NI, onde pode se:

- Configurar o *hardware* e *software* da MCB.
- Definir canais, interfaces e instrumentação virtual.
- Executar diagnósticos do sistema.

Mediante esta interface é possível programar e configurar os parâmetros do controlador de movimentos que melhor se adequem ao sistema projetado. Estas são gravadas na memória da MCB, não sendo necessária programá-la cada vez que seja ligado o equipamento. A interface gráfica de configuração dos parâmetros PID tem ferramentas que permitem realizar ensaios no sistema e fornecer gráficos das curvas de resposta. A partir destes ensaios se configura o sistema para que atenda aos requisitos desejados do projeto. Neste estudo de caso, os resultados dos ensaios apresentados na interface gráfica do MAX são comparados com as curvas das simulações dinâmicas feitos em *Simulink*, embora não se encontrem os mesmos valores PID usado no MAX e no *Simulink*, p/ex, pelo motivo de não se simular o comportamento discreto da MCB.

Os valores dos parâmetros PID escolhidos na programação do MAX no eixo X, são apresentados na figura 33. No anexo 8 explica-se cada uma das variáveis usadas pelo MAX, e o comportamento deste.

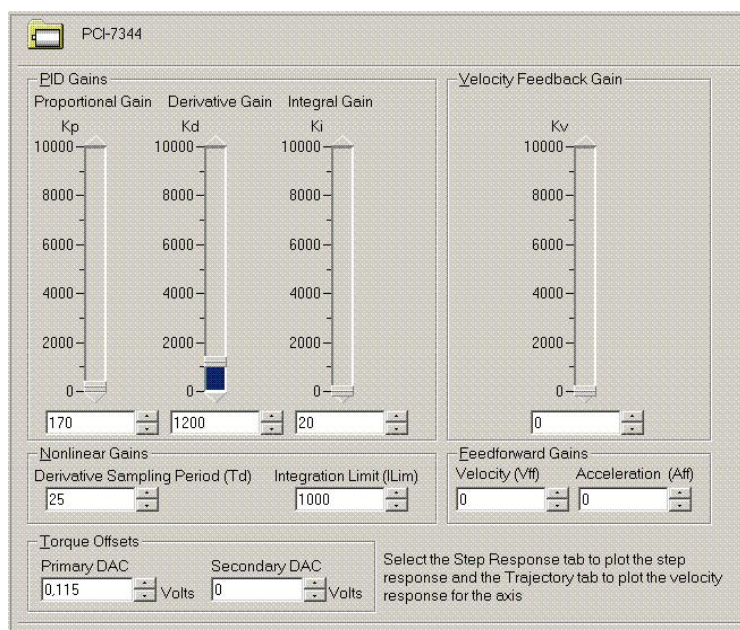


Figura 37 Parâmetros escolhidos no MAX para o controlador PID do eixo X.

Os resultados dos ensaios da resposta ao degrau no aplicativo MAX a um degrau de referência de posicionamento de 8000 *counts* (pulsos do *encoder*) equivalem no movimento translativo dos cabeçotes no eixo X a 210,53 mm e no eixo Y a 96,39 mm, pelo seu fator de conversão de 39 no eixo X e 83 counts por milímetro no eixo Y. Na figura 34 apresenta-se a resposta ao degrau 8000 counts do eixo X da DP-01/02.

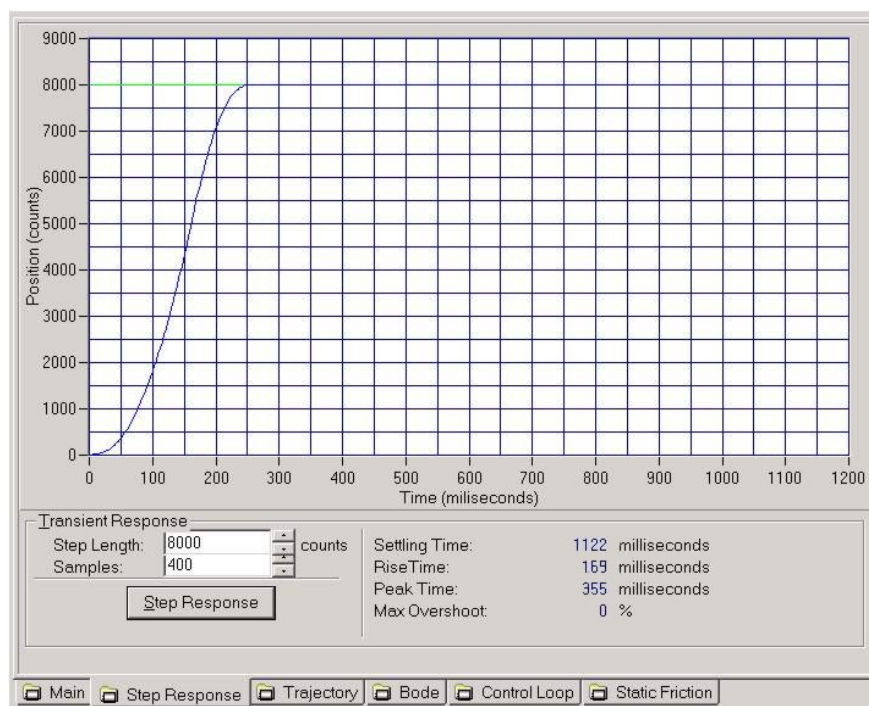


Figura 38 Resposta ao degrau de posicionamento no eixo X da DP-01/02.

Outro gráfico gerado no MAX é a curva de movimento, ou seja, o PVM a ser seguido cada vez que o equipamento está se deslocando. Na figura 35 é apresentado o PVM obtido pelo software MAX no eixo X da DP-01/02. O MAX gerou um PVM trapezoidal com velocidade máxima de 325 rpm, e aceleração e desaceleração na ordem de 30 ms. A curva do PVM foi gerada no comprimento total do eixo X, de 3000 mm (114000 counts).

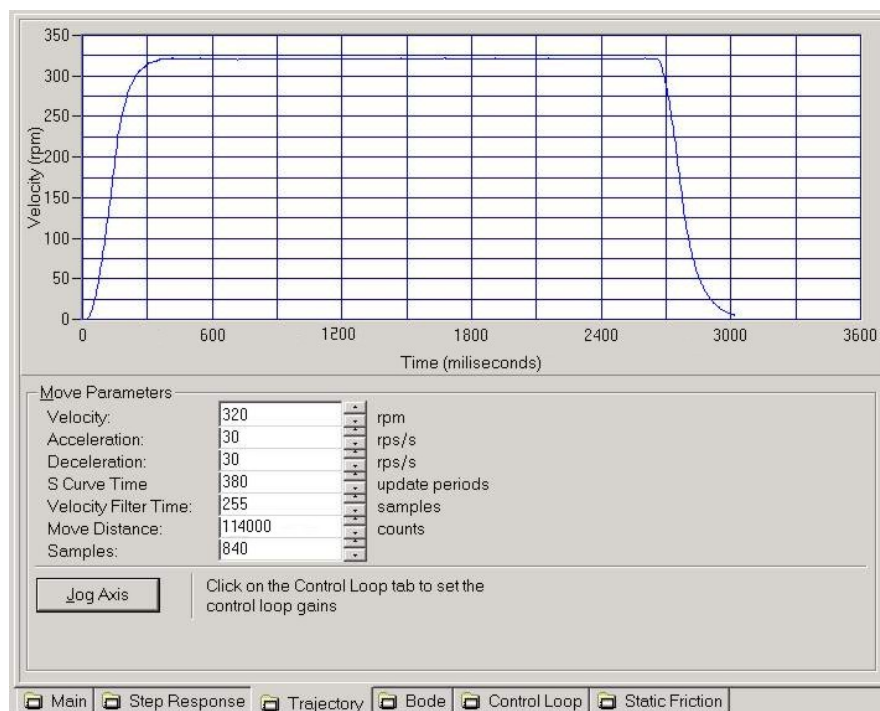
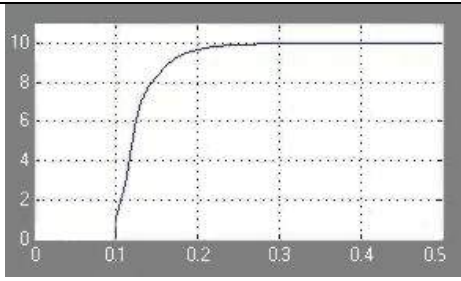
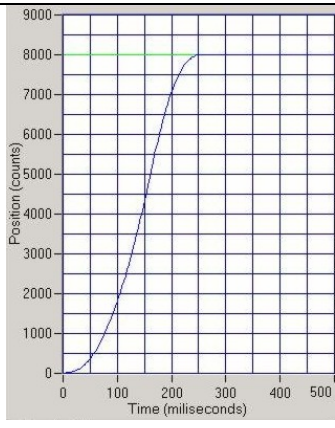
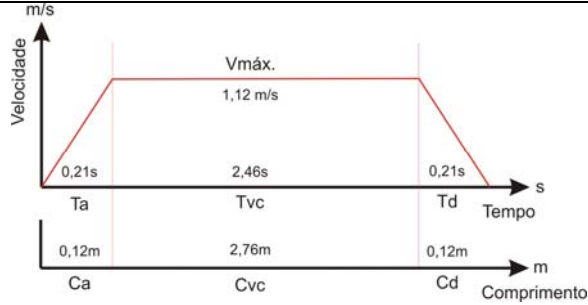
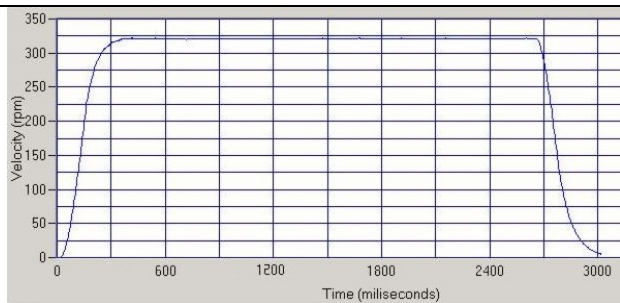


Figura 39 Simulação do PVM no eixo X da DP-01/02.

Na tabela 36, é apresentada a comparação dos resultados obtidos na simulação pelo software *Simulink*, e os gráficos obtidos pelo aplicativo MAX do comportamento real do servoposicionador no eixo X tudo isto visado nos requisitos de projeto da DP-01/02 (tabela 34).

Tabela 36 Comparação dos resultados obtidos nas simulações da DP-01/02 no LHW.

POSIÇÃO ANGULAR DO EIXO DO SERVOMOTOR	
<i>Simulink</i> (teórico)	<p>Pode ser observada nestes ensaios a similaridade entre os gráficos de resposta ao degrau do eixo X na DP-01/02 obtido na simulação pelo software <i>Simulink</i> e pelo software MAX, além de atender às especificações de projeto. Os gráficos atingem o tempo de resposta da posição angular (tempo de subida), que segundo o projetado (tabela 34 e anexo 6) esta na ordem de 0,21 s, com uma sobrepassagem na posição angular do servomotor menor que 1% (tabela 34).</p>
	
MAX (real)	
PERFIL DE VELOCIDADE DE MOVIMENTO (PVM)	
	<p>Pode ser observada nestes ensaios a similaridade entre os gráficos do PVM do eixo X na DP-01/02, o primeiro projetado (tabela 25 e anexo 6) e o segundo obtido pelo software MAX.</p> <p>Em deslocamentos translativos curtos a curva do PVM transforma-se num triângulo, pelo motivo desta ainda não ter atingido a velocidade máxima programada quando já tem que começar a desacelerar, para poder atingir a posição desejada.</p>
MAX (real)	
	

4.4. Simulação dinâmica do EM-01/01 projetada

No começo e transcurso deste capítulo explicou-se a metodologia usada na seleção do servomotor, e o porquê da importância de uma boa escolha. O modelo matemático simplificado obtido do estudo de caso do eixo X na DP-01/02 (figura 32), representa a mesma planta a ser usada no EM-01/01 o qual foi validada ao obter semelhança entre o modelo via software simulink e medição do comportamento real via software MAX.

Os coeficientes requeridos pelos blocos da simulação feita no software *Simulink* foram obtidos experimentalmente (anexo 6) e extrapolados para a simulação do EM-01/01 projetado. Como explicado no item 4.3.3, o parâmetro T_p (torque de perturbação) é a força produzida pelo fenômeno de tensionamento da correia sincronizadora que envolve as polias dentadas. Esta força não é considerada ou é omitida na maioria das simulações deste tipo de servoposicionadores (tabela 26), por dois motivos:

- Estes valores só podem ser obtidos depois de adquiridos e montados todos os componentes dos servoposicionadores e esticadas as correias sincronizadoras.
- Não existe informação útil por parte dos fornecedores das correias sincronizadoras sobre este comportamento, pois cada aplicação tem suas particularidades. Somente são detalhadas as cargas máximas que ela pode suportar e a máxima tensão à que pode ser esticada.

Os parâmetros: K (constante de elasticidade da correia sincronizadora) e b (coeficientes de atrito viscoso, podendo ser nas polias, ou nas guias de deslizamento), são comumente considerados nas simulações deste tipo de servoposicionadores. Os fornecedores dos componentes mecânicos explicam seu efeito, mas não fornecem dados detalhados para sua determinação, motivo pelo qual precisou-se da DP-01/02 para sua medição experimental (anexo 7).

Baseando-se no processo de cálculo e simulação dinâmica na escolha do servoposicionador do estudo de caso da DP-01/02, foi usada a mesma metodologia para o EM-01/01. Porém foram acoplados redutores entre os eixos dos servomotores e as polias tracionadoras do EM-01/01 (item 3.4).

4.4.1. Perfil de velocidade de movimento do EM-01/01 projetado

Segundo explicado no item 3.2.10/C e cálculos apresentados no anexo 9 usou-se os PVM para o EM-01/01 apresentados nas figuras 22 e 23 de cada um dos eixos respectivamente, capítulo 3 paginas 54 e 55.

Existe abundância de opções de fabricantes de servoacionamentos. Mas uns dos requisitos do EM-01/01, no capítulo 3 “concepção do equipamento”, é de projetar um equipamento estruturado por componentes que permitam uma fácil aquisição e manipulação dos dados, pelo qual pesquisou-se primeiramente em fabricantes nacionais, mas os servoacionamentos existentes não atingiam os requisitos de projeto do EM-01/01. Na segunda opção de pesquisa procurou-se por fornecedores internacionais de servoacionamentos, recaindo a escolha nos servoacionamentos da marca YASKAWA, apresentado na Tabela 37. Estes se distinguem conforme segue:

- Permitem atingir os requisitos de projeto do EM-01/01.
- Tem Filial no Brasil, “Yaskawa Electrico do Brasil Comercio LTDA”.
- Oferece apoio de informação técnica ao projetista.

Tabela 37 Servoacionamento escolhidos no EM-01/01 projetado:

Servoacionamentos Yaskawa		
Eixo	SGMPH 02A	SGMPH 04A
	X	Y
Rotação nominal [rpm]	3000	3000
Rotação máxima [rpm]	5000	5000
Potência [W]	200	400
Torque nominal [Nm]	0,64	1,27
Torque máximo [Nm]	1,91	3,82
<i>Servodriver</i>	SGDH - 02A	SGDH - 04A

4.4.2. Simulação do modelo dinâmico do EM-01/01 projetado

O novo bloco-diagrama funcional utilizado na simulação do EM-01/01 é apresentado na figura 36, com o uso de redutor nos dois eixos, no eixo X com redutor 2:1 e no eixo Y com redutor 4:1.

Os valores dos coeficientes utilizados na simulação feita pelo software *simulink* dos eixos X e Y do EM-01/01, são apresentados na tabela 38. No anexo 7 é explicado o procedimento da obtenção destes dados.

Tabela 38 Coeficientes necessários na simulação dos eixos do EM-01/01.

EIXO X		EIXO Y		Unidade
Coeficiente	Valor	Coeficiente	Valor	
k_{tx}	0,349	k_{ty}	0,535	Nm/A
k_{cx}	5	k_{cy}	3,846	V/A
j_x	0,0008493	j_y	0,0008631	kg m ²
b_x	0,01175	b_y	0,01175	Nm/(rad/s)
r_x	0,0331	r_y	0,0331	m
k_x	232486	k_y	232486	N/m
m_x	8	m_y	30	kg
b_3	10,91	b_3	10,91	N/(m/s)
N	2	N	4	
T_p	0,993	T_p	1,1	Nm

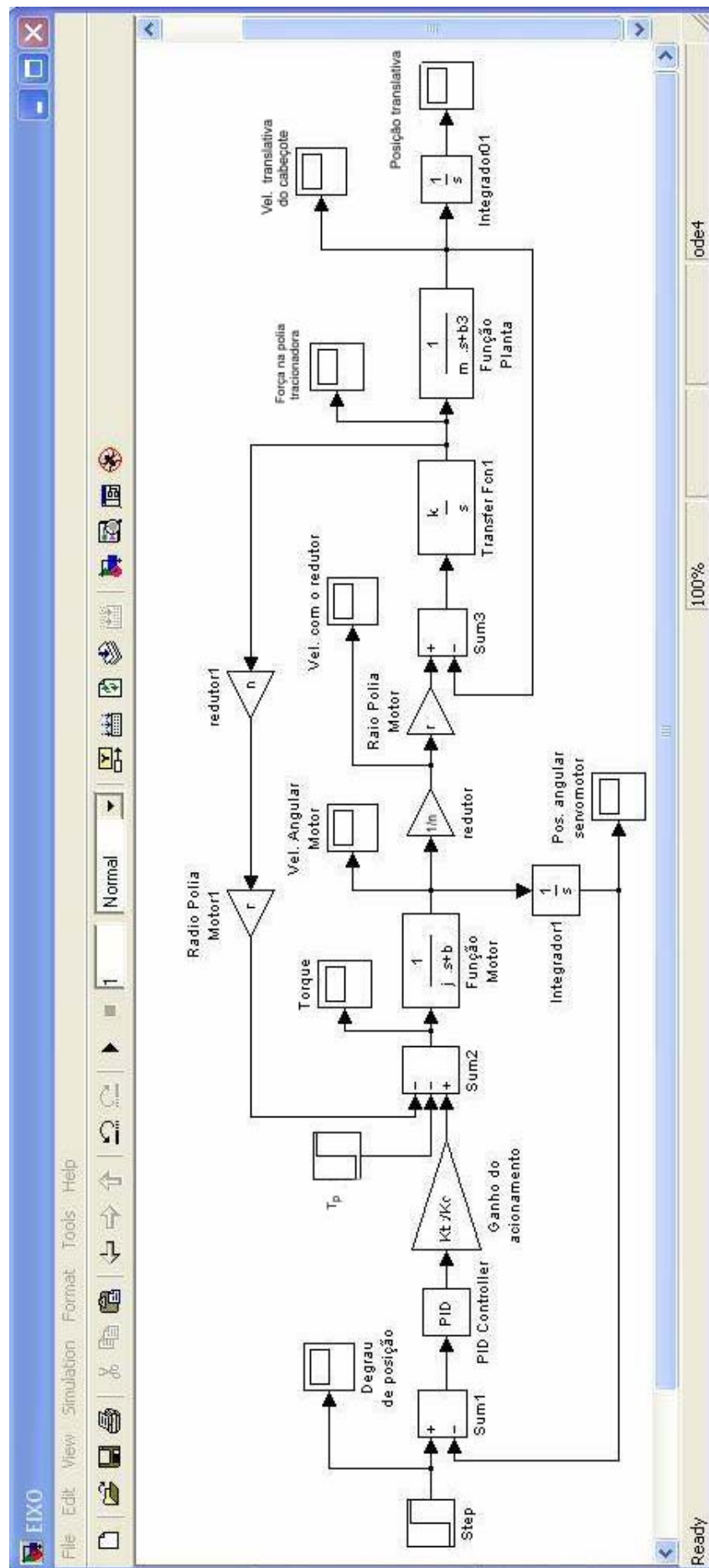
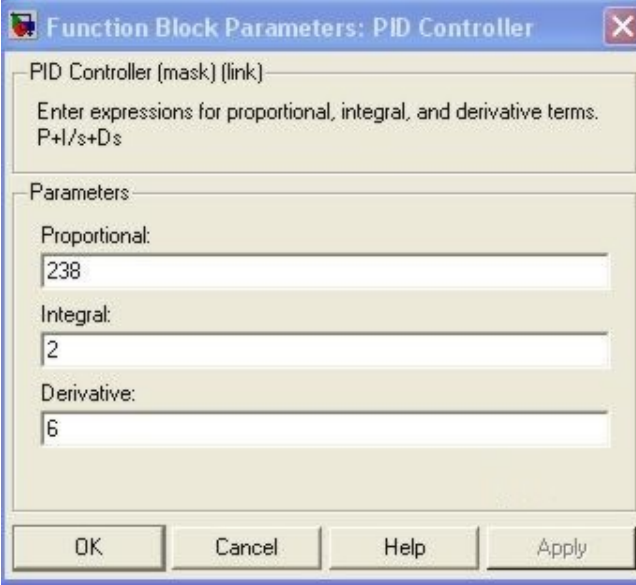
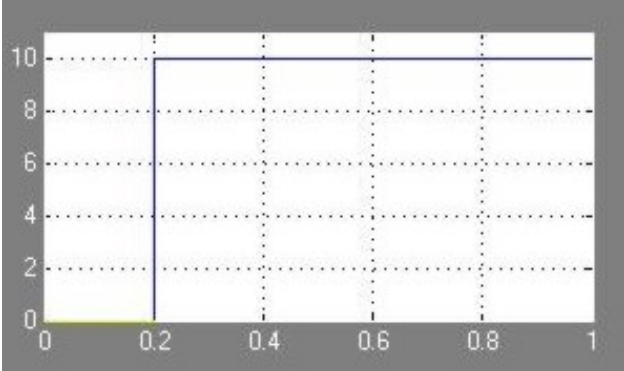
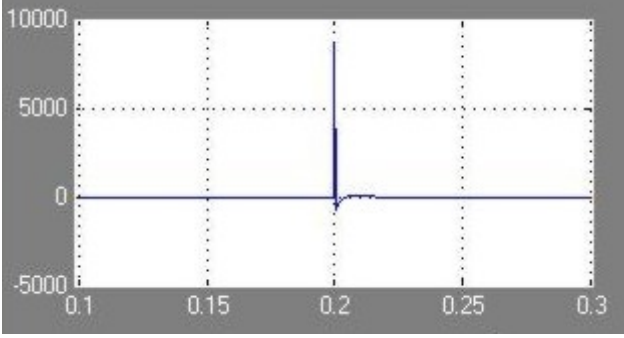
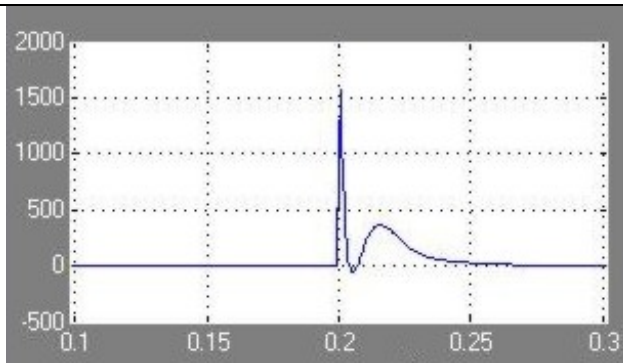


Figura 40 Modelo dinâmico dos eixos do EM-01/01 implementado no *Simulink*.

Nas tabelas 39 e 40 são apresentados os resultados das simulações dinâmicas obtidas do software *simulink*, atingidos pelos servomotores escolhidos.

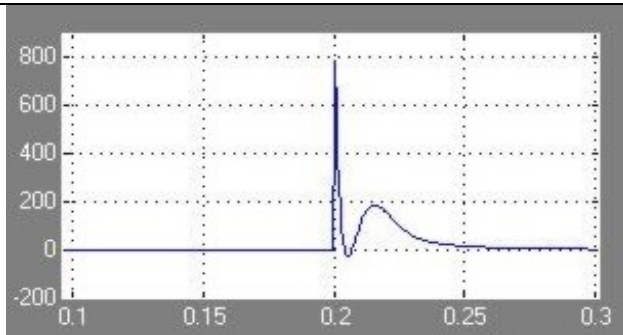
Tabela 39 Resposta ao degrau do modelo dinâmico do eixo X do EM-01/01 projetado.

	<p>Mostra a janela de entrada para os parâmetros de controle escolhidos no eixo X, que permitem posicionamento na faixa definida pelos requisitos de projeto.</p>
Parâmetros PID escolhidos.	
	<p>Sinal de entrada em tensão ± 10 V, com informação da posição.</p>
Degrau de posição.	
	<p>Torque no eixo do servomotor, (valor menor do que a máxima especificada pelo fabricante). O torque na saída do redutor 2:1 aumenta em proporção ao fator do redutor.</p>
Torque no servomotor.	



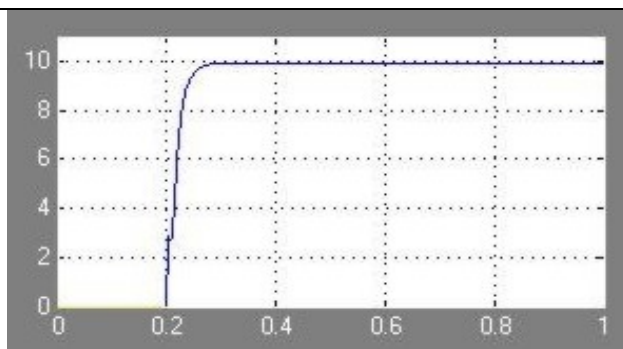
Velocidade angular no eixo do servomotor, antes do redutor. (valor menor do que a máxima especificada pelo fabricante).

Velocidade angular do servomotor.



Velocidade angular na saída do redutor 2:1. Velocidade diminui em proporção ao fator do redutor.

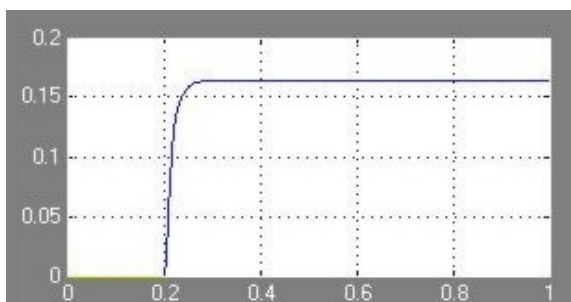
Velocidade angular na saída do redutor 2:1.



O tempo de resposta da posição angular (tempo de subida); está na ordem de 0,11 s.

Sobrepassagem na posição angular do servomotor é menor que 1%.

Posição angular do servomotor.



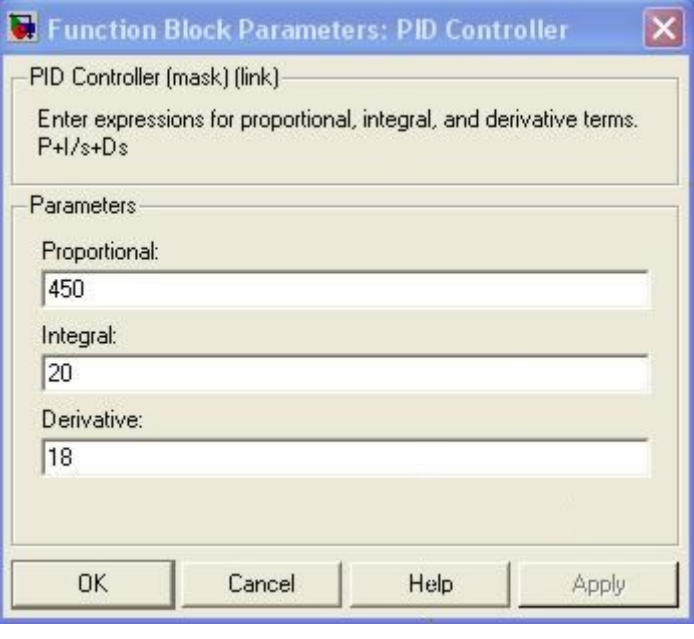
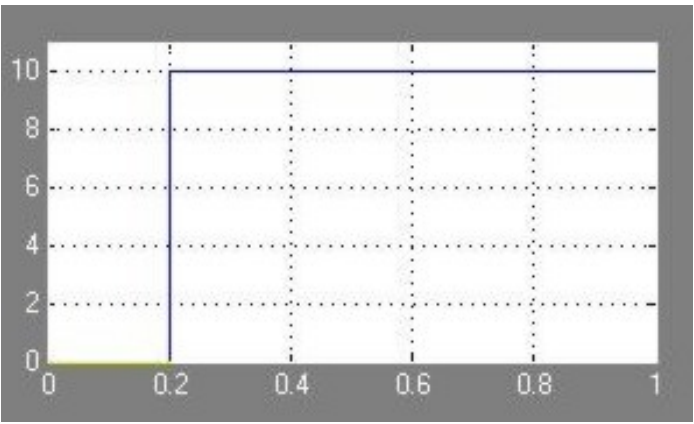
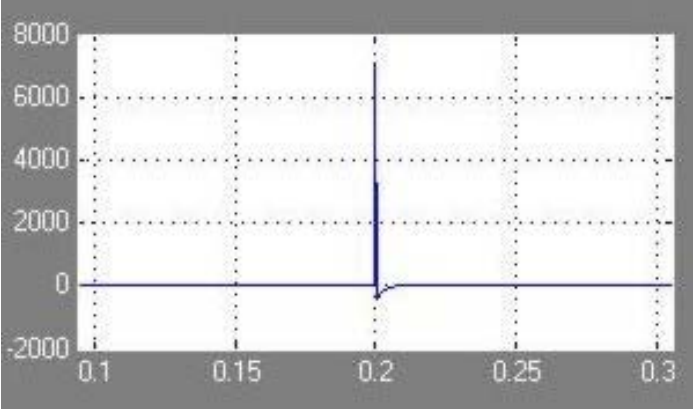
O posicionamento translativo do cabeçote:

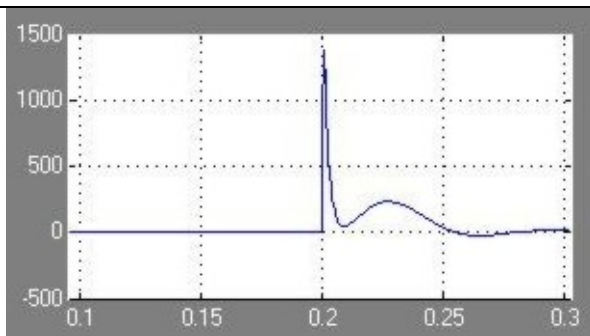
No regime transitório não apresenta oscilação, não sendo afetada pela elasticidade da correia.

No regime estacionário não apresenta oscilação indicando que o sistema mantém seu controle depois de atingida a posição programada. O erro de posicionamento a regime permanente é menor a 0,01 mm.

Posicionamento translativo do cabeçote.

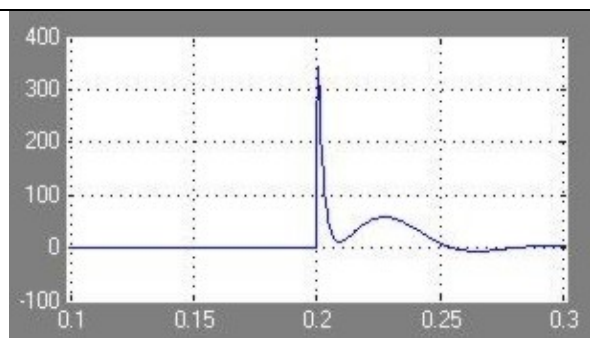
Tabela 40 Resposta ao degrau do modelo dinâmico do eixo Y do EM-01/01 projetado.

	<p>Mostra a janela de entrada para os parâmetros de controle escolhidos no eixo Y, que permitem posicionamento na faixa definida pelos requisitos de projeto.</p>
Parâmetros PID escolhidos.	
	<p>Sinal de entrada em tensão ± 10 V, com informação da posição.</p>
Degrau de posição.	
	<p>Torque no eixo do servomotor, (valor menor do que a máxima especificada pelo fabricante). O torque na saída do redutor 4:1 aumenta em proporção ao fator do redutor.</p>
Torque no servomotor.	



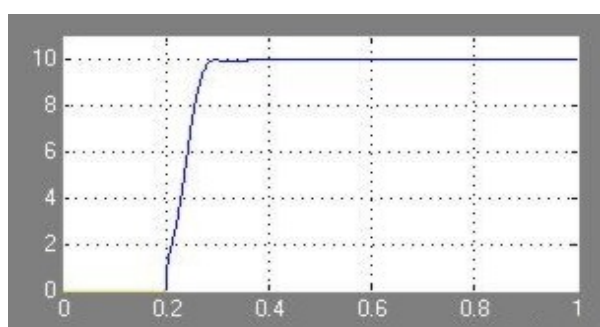
Velocidade angular no eixo do servomotor, antes do redutor. (valor menor do que a máxima especificada pelo fabricante).

Velocidade angular do servomotor.



Velocidade angular na saída do redutor 4:1. Velocidade diminui em proporção ao fator do redutor.

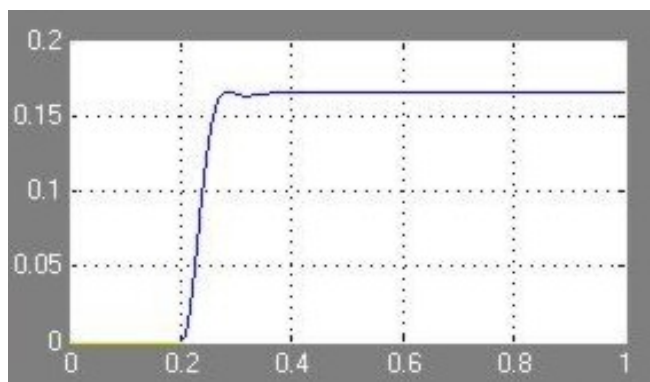
Velocidade angular na saída do redutor 4:1.



O tempo de resposta da posição angular (tempo de subida); está na ordem de 0,11 s.

Sobrepasse na posição angular do servomotor é menor que 1%.

Posição angular do servomotor.



O posicionamento translativo do cabeçote:

No regime transitório não apresenta oscilação, não sendo afetada pela elasticidade da correia.

No regime estacionário não apresenta oscilação indicando que o sistema mantém seu controle depois de atingida a posição programada. O erro de posicionamento a regime permanente é menor a 0,01 mm.

Posicionamento translativo do cabeçote.

Concluindo deseja-se validar o modelo dinâmico da DP-01/02 para ser usado no EM-01/01 projetado. Um dos objetivos desta validação é certificar-se de uma boa seleção dos valores dos parâmetros que em parte não são fornecidos pelos fabricantes dos componentes; além disso que a disposição dos blocos seja a representação mais próxima possível da realidade.

Nesta validação encontrou-se um torque de perturbação não considerado nas simulações deste tipo de servoposicionadores; é que aportam grandes variações que ocasionam uma discordância com a realidade.

Todas as considerações acima decorrem da semelhança construtiva do eixo estudado com os eixos que serão usados pelo EM-01/01 projetado.

A partir do modelo matemático validado, e utilizado os componentes mecânicos, elétricos e eletrônicos escolhidos para o EM-01/01, este sistema se comporta de acordo com os requisitos de projeto, (capítulo 3, item 3.4) e listados na matriz morfológica (tabela 25).

Capítulo 5 SOFTWARE GERENCIADOR DE MOVIMENTO

5.1. Introdução

O *software* desenvolvido foi implementado na DP-01/02, usada para estudo de caso, podendo ser integralmente utilizado no EM-01/01 projetado, restando configurar os novos parâmetros.

Não existe comercialmente CNC de arquitetura fechada para o tipo de equipamento projetado, pelo que foi escolhida a MCB apresentada no item 2.4.5; esta MCB tem que ser programada na sua própria linguagem (item 3.2.10/C). Precisando-se também de vasto tempo no ajuste dos parâmetros da MCB escolhida para as DP-01/01 e DP-01/02 até o sistema funcionar corretamente, só daí passa-se a dar *início* ao desenvolvimento do *software* gerenciador do EM-01/01.

O *software* gerenciador desenvolvido tem como finalidade obter movimentação vetorial do pórtico X-Y da EM-01/01, considerando que o movimento de tipo varredura já foi implementado na DP-01/01 e DP-01/02 (Burgoa, 2004).

Uma das características da programação da MCB da *NI*, aplicada neste trabalho de dissertação, é o uso da função “*Blending Moves*” que permite obter movimento contínuo e concordante entre dois ou mais segmentos carregados na

matriz de dados de posicionamento. A função “*Blending Moves*” baseia-se no PVM, tentando sempre conseguir a máxima velocidade deste perfil.

Existem três tipos de programação desta função, que caracteriza a forma de se movimentar os servoposicionadores entre dois segmentos carregados na matriz de posicionamento:

- Função “*blend 0*”, os servoposicionadores termino o percurso de um segmento param e instantaneamente continuam com o próximo segmento.
- Função “*blend 1*”, os servoposicionadores termino o percurso de um segmento param (durante um tempo programado pelo usuário), terminado este tempo de parada continuam com o próximo segmento.
- Função “*blend 2*”, os servoposicionadores antes de terminar o percurso de um segmento começam com o próximo segmento, sobrepondo parcialmente os movimentos.

Na primeira programação da função “*blend 0*”, depois de terminado o deslocamento dos servoposicionadores para um segmento, estes param, e imediatamente começam a se movimentar seguindo as coordenadas de um próximo segmento, lido da matriz de posicionamento. Na figura 41, apresenta-se um diagrama explicativo do comportamento desta função além de uma figura digitalizada impressa na DP-01/02 programada com este tipo de movimento. Na figura digitalizada da impressão realizada na DP-01/02 observa-se a marcação de certos pontos de emenda; no caso dos quadrados, os pontos de emenda encontram-se em cada uma de seus vértices; no caso das circunferências os pontos de emenda encontram-se no começo e final destas.

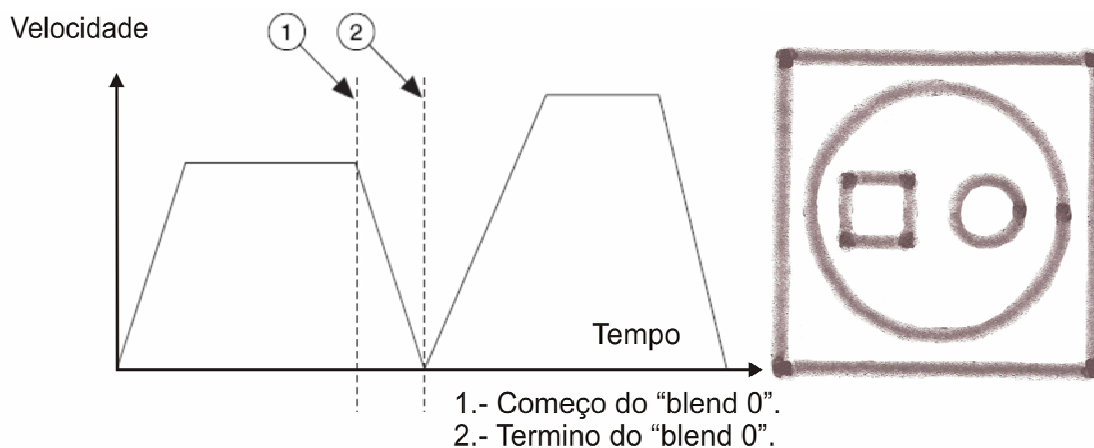


Figura 41 Função “*blend 0*” (sem tempo de parada entre movimentos).

No segundo tipo de programação “*blend 1*” depois de terminado o deslocamento dos servoposicionadores seguindo um segmento, estes param, ficando neste estado por um tempo de parada programado pelo usuário. Terminado este tempo de parada os servoposicionadores movimentam-se seguindo as coordenadas do próximo segmento lido da matriz de posicionamento. Na figura 42, apresenta-se uma diagrama explicativo do comportamento desta função além de uma figura digitalizada impressa na DP-01/02 programada com este tipo de movimento. Produz-se o mesmo resultado de impressão que a primeira programação (função “*blend 0*”), a diferença é o tempo que os servoposicionadores permanecem parados.

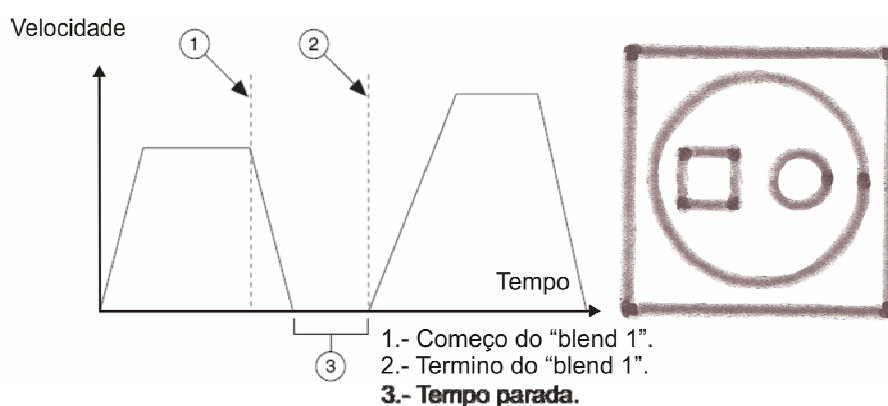


Figura 42 Função “*blend 1*” (com tempo de parada entre movimentos).

No terceiro tipo de programação da função “*blend 2*”, antes de terminar o deslocamento dos servoposicionadores seguindo um primeiro segmento, sobrepõe-se os PVM, resultando um movimento contínuo nos servoposicionadores, sem que estes parem intermediariamente. Na figura 43, apresenta-se uma diagrama explicativo do comportamento desta função além de uma figura digitalizada impressa na DP-01/02. Observe-se que somente ainda aparecem pontos no início/fim dos polígonos desenhados.

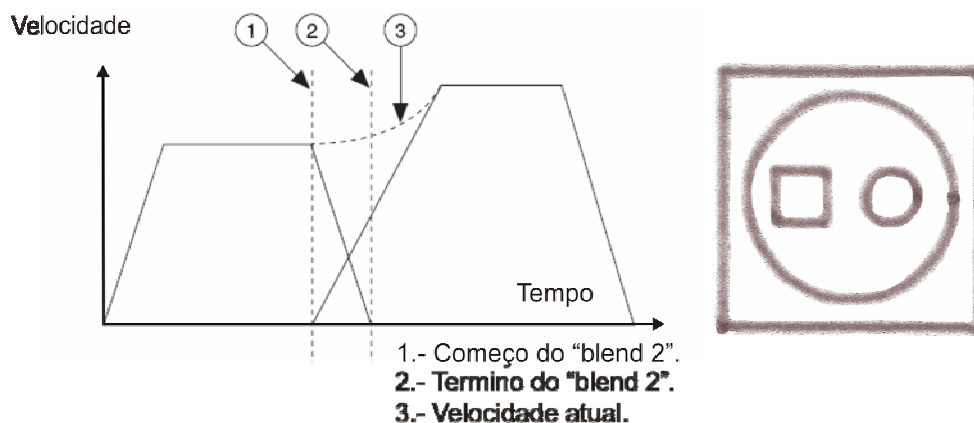


Figura 43 Função “*blend 2*” misturando perfis de movimentos entre segmentos.

Não se achou desenho padrão para realizar os testes da DP-01/02; assim, escolheu-se o desenho da figura 44 pelas seguintes razões:

- Desenho com figuras geométricas não colineares.
- Desenhos com figuras geométricas variadas e simples, de fácil análise.
- Dimensões reduzidas, que levadas às especificações construtivas da DP-01/02 onde foi testado, fazem que este seja submetido a situações críticas da dinâmica do equipamento. (eixo Y carrega 118 kg).
- Desenho com figuras internas onde o programa gerenciador tem que envolver suas duas velocidades, a de posicionamento e a de trabalho. A velocidade de posicionamento é utilizada quando a ferramenta não está ativada; sendo a situação mais crítica passar dos contornos externos aos contornos mais internos pelo seu pequeno comprimento.
- No desenho usam-se circunferências que obriga que o equipamento trabalhe interpolando os eixos, trata-se de movimentação interpolada dos eixos mais crítica dos que para a realização de linhas diagonais, pelo que não foi aventada sua implementação.
- O uso de linhas paralelas aos eixos cartesianos (e não de diagonais) no desenho é para ajudar visualizar nos testes o efeito de sobre-passagem específicos de cada eixo.

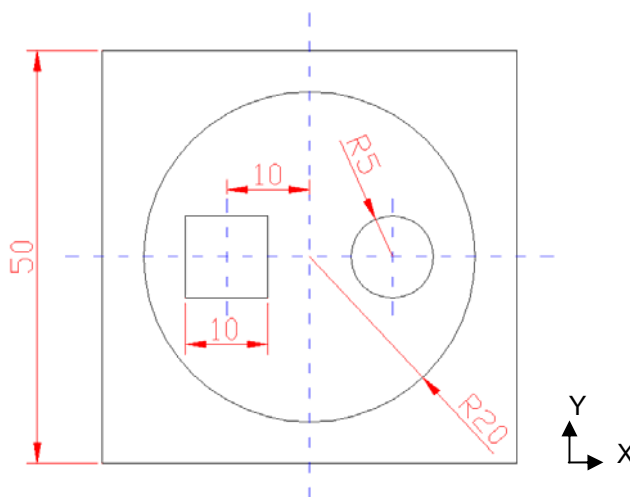


Figura 44 Desenho aplicado nos testes da DP-01/01 e DP-01/02.

Outra das características da programação da MCB da NI, aplicada neste trabalho de dissertação, é o uso da função “*electronic gearing*”, que permite que um dos eixos seja sincronizando-se ao movimento do outro eixo, durante seu posicionamento, mas não ambos à mesma velocidade (eles movimentam-se em velocidades diferentes). Significa que, quando é enviado pelo software gerenciador à

MCB o comando de movimento aos servoposicionadores para gerar uma circunferência, um dos eixos (eixo X) siga, segundo uma relação de conversão, o deslocamento do outro eixo (eixo Y), gerando uma circunferência (se não usa-se esta função, resultaria uma elipse).

5.2. Software gerenciador do sistema

O software gerenciador desenvolvido configura a MCB, inicializa todos os *drivers* do EM-01/01, aguarda espera pelo programa em código G da figura a ser processada, o qual o software feito em linguagem Labview interpreta e inicia a movimentação do pórtico X-Y de acordo a estes comandos do código G introduzidos.

De acordo com a MCB escolhida (da *N/*) (Capítulo 3) pelo explicado no item 3.2.10/D, a linguagem de programação escolhida é a gráfica, usando o *software Labview*.

5.3. Arquivos gráficos

Um arquivo de figuras é uma coleção de elementos. Estes elementos são componentes geométricos da figura, como um polígono, circunferência, etc. o ser também detalhes da aparência (cor da linha, etc.). Existe um grande número de formatos de arquivos de figuras (anexo 10), estes são classificados em dois tipos: *bitmap* (varredura) e vetorial. Os formatos mais usados pelas empresas de CV e adotadas pelos equipamentos que tem que interpretar os arquivos gráficos para seu funcionamento são: BMP e JPG (varredura), DXF e PS (vetorial).

O formato para desenho de maior uso na atualidade na geração de movimento vetorial é o DXF, sendo compatível com programas gráficos como *Coreldraw*, *Autocad* e *Photoshop*. O formato DXF é a forma abreviada de *Drawing intereXange Format*, onde “*interexange*” está para *interchange*, ou seja Formato de intercâmbio de desenhos. Este formato foi desenvolvido pela *Autodesk* (companhia proprietária do *Autocad*) com o objetivo de permitir o intercâmbio de informação entre os *software* de CAD que não suportam a leitura do formato DWG. O motivo de ser este o arquivo mais requerido na atualidade é pela liberação e divulgação do modo de decodificar o formato DXF feito pela companhia *Autodesk*.

Procurando-se formas para decodificar arquivos DXF e traduzi-los para ser interpretados pelo *Labview*, surgem duas maneiras:

- Uma é feita de forma direta, onde o desenho é interpretado e decodificando diretamente do arquivo DXF. A decodificação é feita num procedimento interno no *software* gerenciador, o usuário nem interage neste processo. Este tipo de decodificação exige um mais alto nível de conhecimento de desenvolvimento de programação e aprofundar o estudo do formato DXF, pela interação dos *softwares* comerciais com o *software* gerenciador do EM-01/01.
- A outra maneira de interpretar os formatos DXF é feita de forma indireta: Depois que o desenho é realizado nos *software* comerciais e obtido o arquivo DXF, é necessário utilizar um segundo *software*, em interação com o usuário, que converte o arquivo DXF em instruções da linguagem G (linguagem CNC) o qual é interpretado pelo *software* gerenciador desenvolvido em *Labview*, especificamente para a aplicação.

No presente projeto foi utilizada a segunda maneira pois seria necessário mais tempo (não disponível) para desenvolver o sistema de decodificação em forma direta para arquivos DXF.

Para facilitar a exposição da metodologia aplicada vai ser realizada com base no exemplo dos desenhos mostrados na figura 45 e 46. O da figura 45 (*Black and White*) foi feito em *Autocad*, em preto e branco e o segundo (*color*) da figura 46 foi feito em *Coreldraw* em cores, ambos em formato DXF.

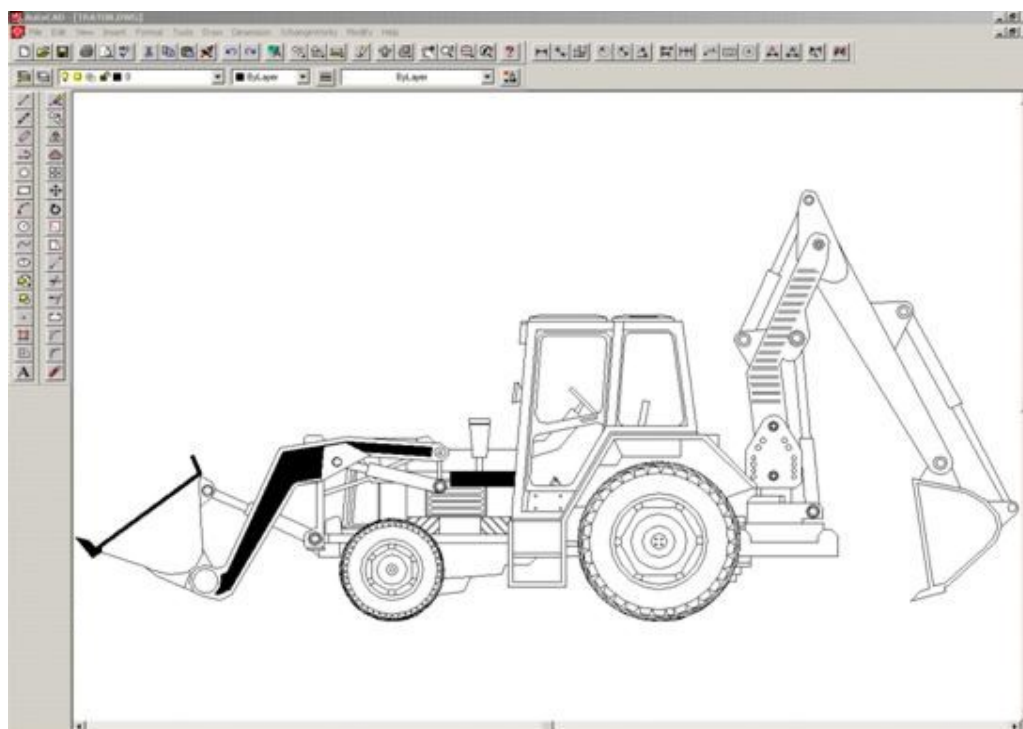


Figura 45 Desenho (B/W) implementado na movimentação usando DP-01/02.

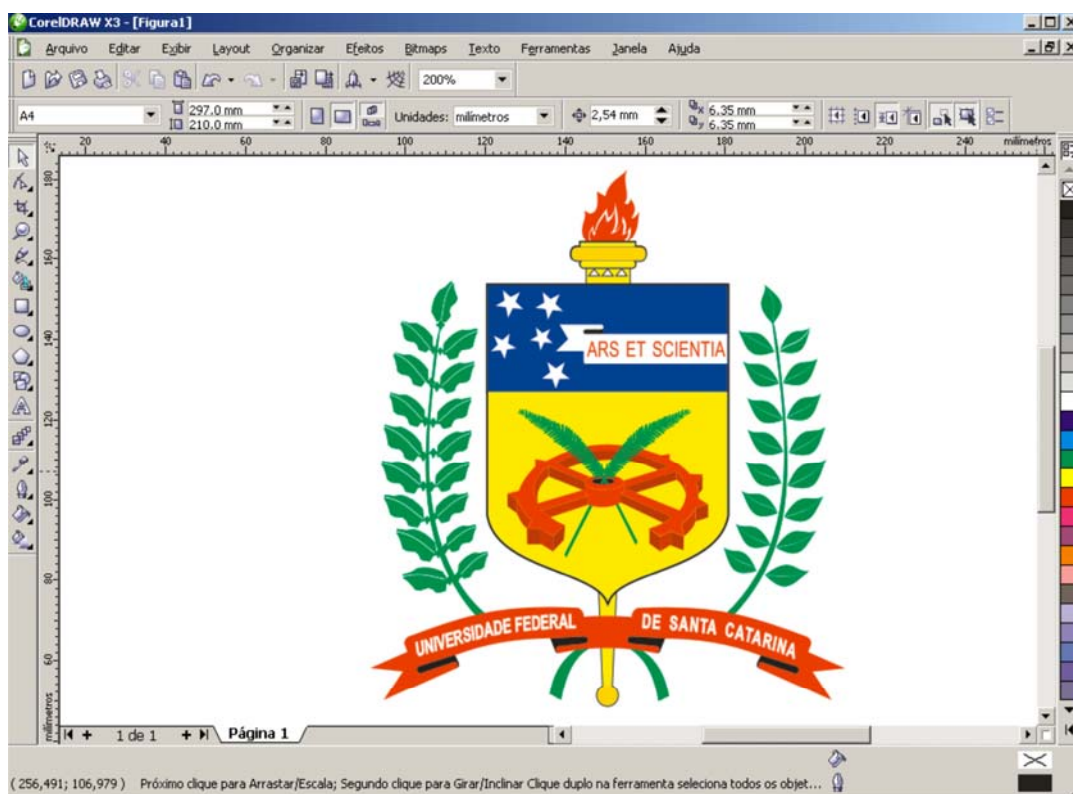


Figura 46 Desenho (*color*) implementado na movimentação usando DP-01/02.

No anexo 11 está uma explicação mais detalhada da metodologia utilizada na decodificação de um desenho feito em formato DXF e o procedimento adotado pelo *software* gerenciador feito em *Labview*, para preencher a matriz de posicionamento que interpreta a PVM.

5.4. Implementação do *software*

O desenho B/W vetorizado em formato DXF foi convertido, isto é decodifica, à linguagem G, tendo como resultado o seguinte trecho extraído de programa completo:

Obs. Estas são as primeiras seis linhas decodificadas em código G, de um total de 4703 linhas.

```
G00 Z0.1000
G00 X80.2193 Y136.0296
G01 Z0.0000
G01 X90.0753 Y130.3376 Z0.0000
G01 X100.3433 Y124.9536 Z0.0000
G01 X111.0153 Y119.9736 Z0.0000
```

Da sintaxe do código G gerado, são somente coletados os dados necessários para o funcionamento da MCB (programada), transformados em dados de movimento (vetorial ou *raster*). Estes dados são interpretados pelo *software* gerenciador desenvolvido na plataforma de programação *Labview*, obtendo informação para movimentação e acionamento da ferramenta ativa a ser utilizada no EM-01/01. A decodificação entrega informação de posição numérica para os eixos X-Y, sendo a informação do eixo Z na forma de cores. O EM-01/01 utiliza as cores da seguinte maneira: No caso de corte LASER, a cor é relativa à profundidade comandando a potência de saída do feixe LASER. No caso das funções de plotagem, riscado de vidro, corte por estilete, esta informação é utilizada somente para ativar a ferramenta ativa no início e final das linhas contínuas do desenho, de maneira a gerar o desenho, marcado, riscado ou corte do material a ser usinado respectivamente.

5.5. Algoritmo do *software* gerenciador

O *software* desenvolvido em linguagem de programação *Labview* foi testado nas DP-01/01 e DP-01/02 no LHW (Burgoa, 2004). O equipamento possui suficientes características construtivas semelhantes ao EM-01/01 projetado, permitindo a realização de testes válidos. Na figura 47 é apresentado fluxograma *Labview* relativo ao programa principal.

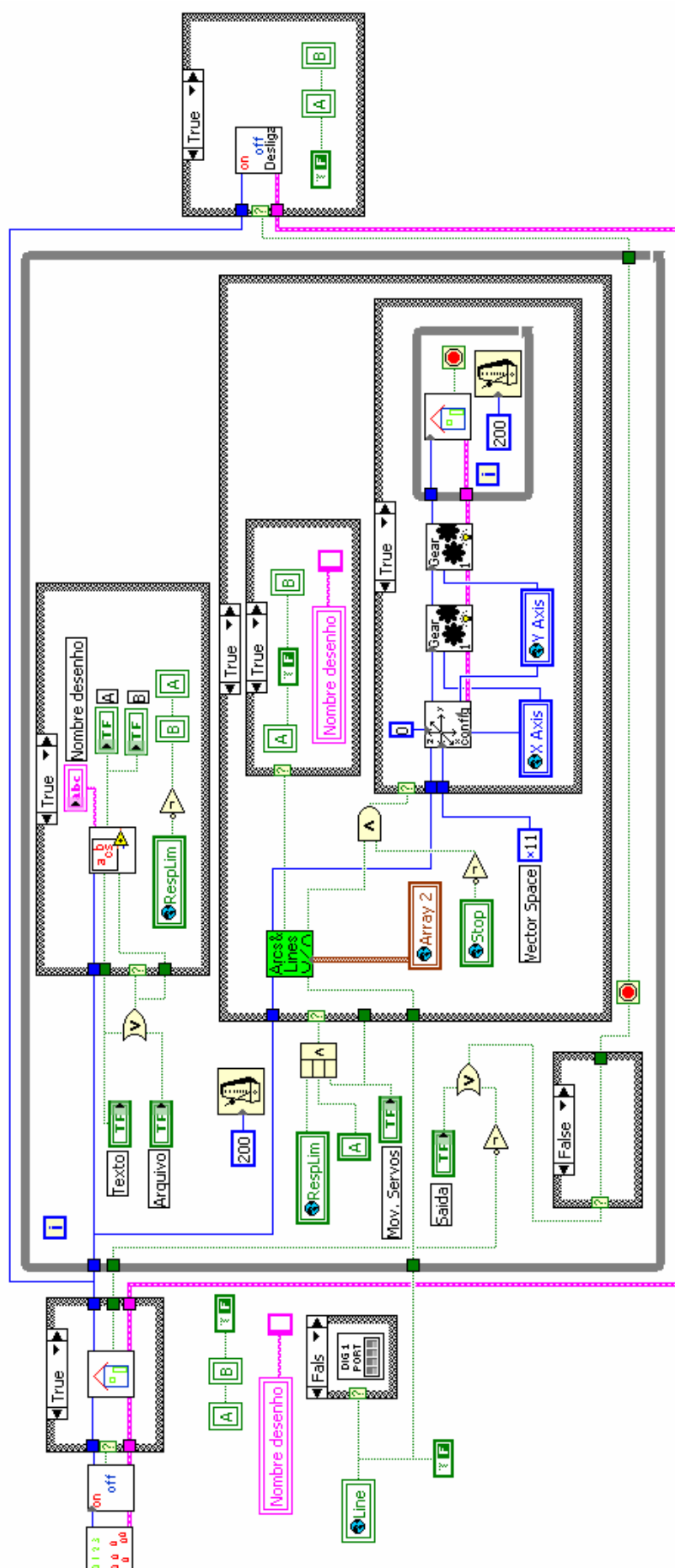
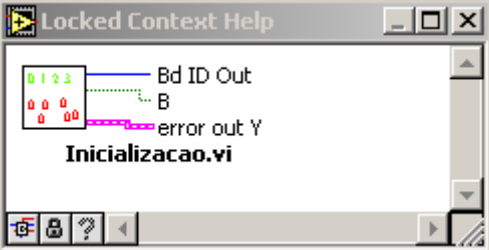

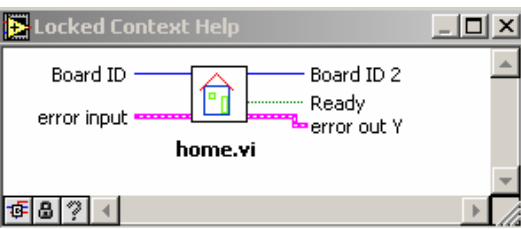
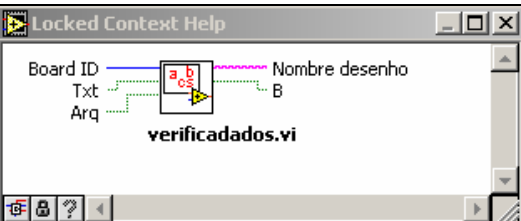
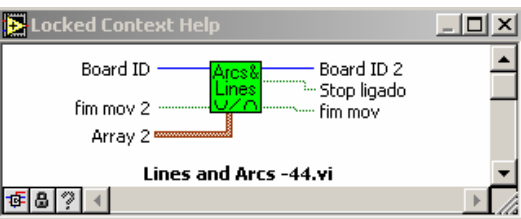
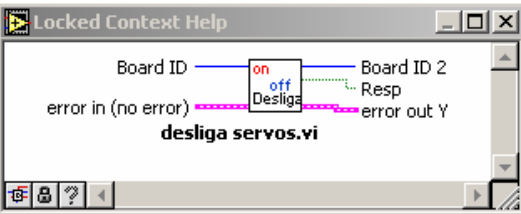


Figura 47 Programa principal em fluxograma do software Labview.

O código do programa principal é constituído de seis subprogramas, apresentadas a seguir através dos ícones do fluxograma.

ÍCONE	FUNÇÃO
	<p>Configuração dos eixos e inicialização dos parâmetros. São introduzidos os dados já configurados no <i>software</i> MAX.</p>
	<p>Ligação dos <i>servodriv</i>ers dos servomotores, e verificação do correto funcionamento.</p>
	<p>Movimentação do posicionador à posição de início (ou “<i>Home</i>”) (= zero-máquina): Os servomotores movem o pórtico à procura dos sensores que informam a posição de início (zero-máquina).</p>
	<p>Entrada do código G do desenho, depuração e ordenamento dos dados para o preenchimento da matriz geradora de movimento (anexo 11).</p>
	<p>Preenchimento da matriz interna de dados onde o desenho é vetorizado, sendo dividido em traços básicos: linhas e arcos. E enviada esta matriz de posicionamento à memória interna da MCB, Comandado o começo da sequência de movimentos nos eixos.</p>
	<p>Antes de executar o último subprograma do ciclo (desligar servos), o programa ficará esperando até que o usuário decida se quer continuar trabalhando com o mesmo desenho, se quer carregar um novo, ou se quer sair do <i>software</i>, fechando daí a comunicação de sinais digitais, além de desligar os servomotores.</p>

5.6. Testes aplicados na DP-01/02

5.6.1. Resumo da configuração do sistema

Realizaram-se diferentes tipos de ensaios com a finalidade de analisar a correta programação da MCB, e o correto funcionamento do *software* gerenciador desenvolvido. Usou-se para este objetivo a DP-01/01 e DP-01/02 disponível no LHW (figuras 48 e 49), Burgoa (2004).

A maior dificuldade para uma futura comparação válida dos resultados obtidos, é a grande diferença entre as dimensões e propriedades físicas das DP-01/01 e DP-01/02 com respeito à EM-01/01 projetado. Como será abordado na apresentação dos ensaios requereu-se a inserção de um redutor no eixo Y, além da substituição do servomotor neste eixo por um de menor torque (DP-01/02) (figura 49).

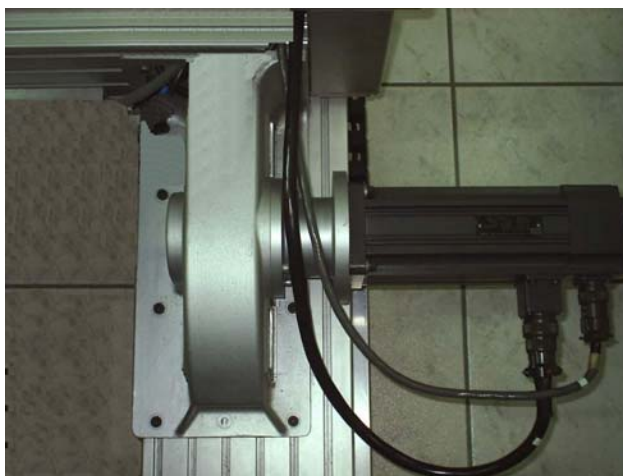


Figura 48 Detalhe do eixo Y da DP-01/01.



Figura 49 Detalhe do eixo Y da DP-01/02.

A exigência de montar um redutor no eixo Y, que tem a maior carga a movimentar (118 Kg.), é pela exigência de minimizar as oscilações geradas no sistema quando se realiza pequenos deslocamentos a baixas velocidades, que é típico em equipamentos que precisam simultaneamente interpolar em dois ou mais eixos de servoacionamentos. O redutor força o acionamento a operar em faixas de rotações mais altas, fazendo com que funcione em região melhor de suas características, fugindo da proximidade das não-linearidades do sistema todo existentes na faixa de baixas rotações; outra vantagem importante advinda do uso de redutor é a grande redução da inércia de carga refletida no eixo do motor.

Para testes em operação plotadora foi montado à DP-01/02 um aerógrafo (figura 50), no qual a ativação ou desativação do jato de tinta é comandada por *software* ativando sinais digitais, da mesma forma que poderiam ser comandadas outras ferramentas ativas como estilete, caneta, riscador de vidro, feixe LASER e cartuchos de impressora.

Com respeito aos parâmetros de controle da MCB do pórtico X-Y da DP-01/02, ela foi testada e sintonizada seguindo os procedimentos de ajuste orientados pelo fabricante da MCB e os usados no trabalho de tese (Burgoa, 2004).



Figura 50 Aerógrafo implementado no equipamento.

O movimento dos eixos é interpolado (operação vetorial), tendo ambos os eixos diferentes fatores de conversão; no caso do eixo X (sem redutor), um milímetro equivale a 39 counts de leitura do *encoder* rotativo; no eixo Y original (DP-01/01), ainda sem redutor e servomotor inicial um milímetro equivale a 24 *counts*; e na versão DP-01/02, com redutor 3:1 e servomotor de característica dinâmica semelhantes ao usado no eixo X, um milímetro equivale a 83 *counts*. Isto faz que na DP-01/02, pela inércia e comprimento do eixo Y seja este eixo o que comanda a

dinâmica de movimento. Em todos os testes a pressão usada no aerógrafo foi de 0,4 psi, pressão recomendada pelo fabricante.

Segue-se na tabela 41 o resumo das principais características do protótipo DP-01/02 em que se realizaram os testes.

Tabela 41 Características do protótipo modificado DP-01/02.

Características	Eixo X	Eixo Y
Dimensões do eixo	960 mm	3000 mm
Massa total sobre a guia	14,3 Kg.	118 Kg.
Transmissão transformadora	Sem redutor	Redutor 3:1
Radio polia acoplada no eixo do servomotor.	0,0331 m	0,0458 m
Transmissão conversora	Polia e correia sincronizadora.	
Guias de movimento	Guia de precisão com casquilhos de esferas recirculantes.	
Servoacionamento	Fabricante : WEG. Servomotor modelo: SWA 56-2,5-60. Torque nominal: 2,5 Nm. Rotação máxima: 6000 rpm. Inércia: $0,22 \times 10^{-3}$ Kg.m ² . Servodriver: SCA– 04.08/16.	
Medição	Indireta, em resolver, equivalente a encoder angular acoplada em cada eixo de servomotor.	
Comando/controle	MCB, NI PCI-7344.	

5.6.2. Verificação da correta interpretação do código G para um desenho em DXF

O objetivo deste teste é verificar a correta interpretação das proporções do desenho feito no *software CAD*, e a geração dos movimentos na DP-01/02, junto à adequada ativação da ferramenta ativa, neste caso acionamento do aerógrafo.

O arranjo dos desenhos usados neste teste é mostrado na figura 51, e ocupa toda a área de trabalho permitida pela DP-01/02.

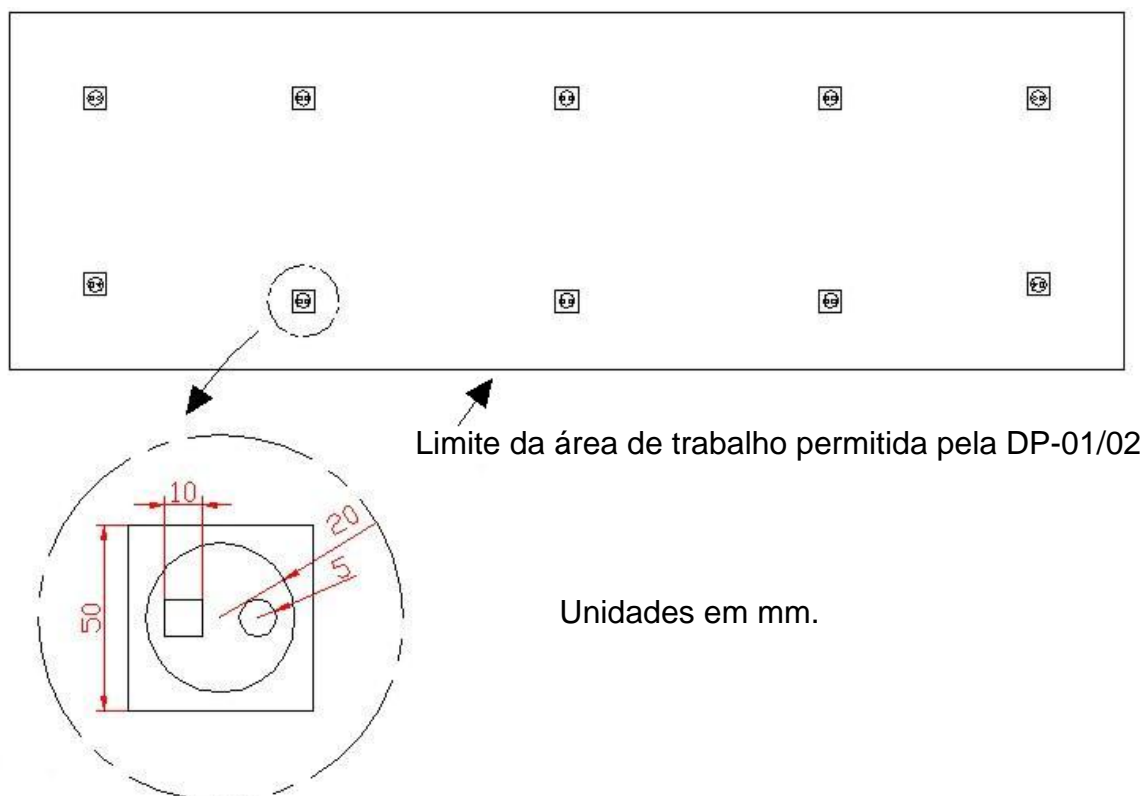


Figura 51 Arranjo dos desenhos usados neste teste.

Com os resultados deste teste se verifica que a DP-01/02 atende às dimensões básicas do desenho, na localização desejada, além de suas proporções corretas ao longo de toda a área de trabalho, concluindo-se assim que o procedimento adotado está correto.

5.6.3. Teste de trajetória

Neste teste é analisada experimentalmente a influência dos valores de programação dos parâmetros dos controladores (PID) nos servoposicionadores e como estes afetam na movimentação do pórtico X-Y, se refletindo na impressão do desenho de teste.

Na realização deste teste, foram programados os parâmetros PID no eixo X provendo uma sobre passagem de 1%. No eixo Y aplicaram-se duas diferentes versões, um com o servomotor (tabela 42) montado diretamente ao eixo sem redutor (DP-01/01), onde os parâmetros PID foram programados com um 1% e 4% de sobre passagens, e no outro arranjo onde o servomotor (tabela 41) foi montado com redutor (DP-01/02), onde os parâmetros PID foram programados para 1% de sobre passagem. (no anexo 8 é explicado o procedimento e a configuração da melhor escolha dos parâmetros PID).

Tabela 42 Características do servoacionamento do eixo Y (inicialmente projetado) (DP-01/01) (Burgoa, 2004).

Características	Eixo Y
Servoacionamento	<p>Fabricante : WEG.</p> <p>Servomotor modelo: SWA 56-7,0-30.</p> <p>Torque nominal: 7,0 Nm.</p> <p>Rotação máxima: 3000 rpm.</p> <p>Inércia: $0,68 \times 10^{-3} \text{ Kg.m}^2$.</p> <p><i>Servodriver</i>: SCA– 04.08/16.</p>

O desenho usado neste teste foi o mesmo usado no teste do item 5.6.2, mas posicionado no centro da área de trabalho permitida pelo equipamento (figura 52).

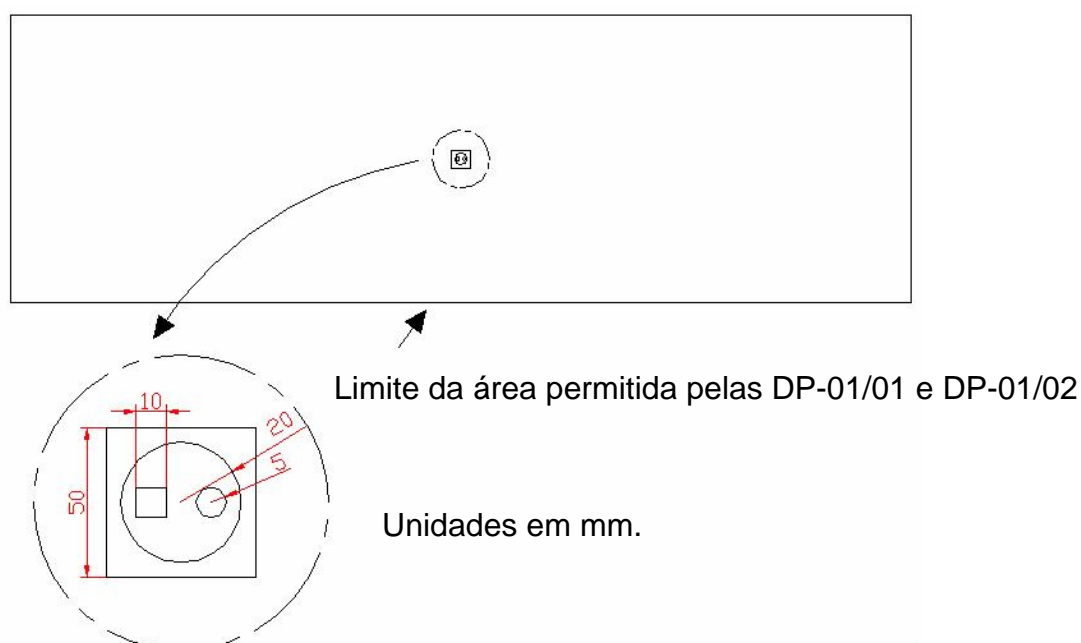


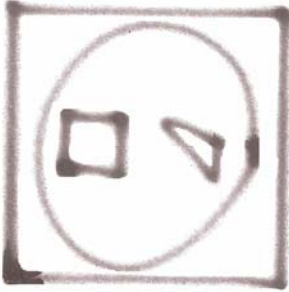


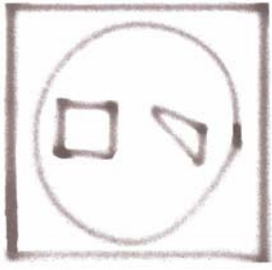


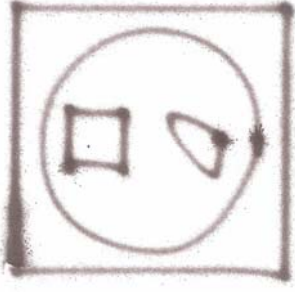


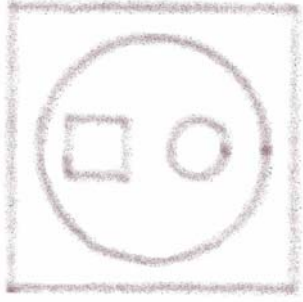

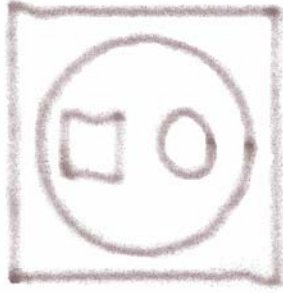
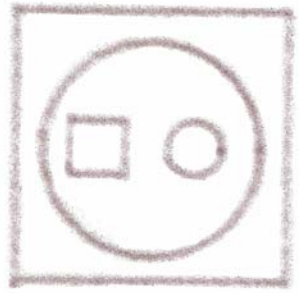


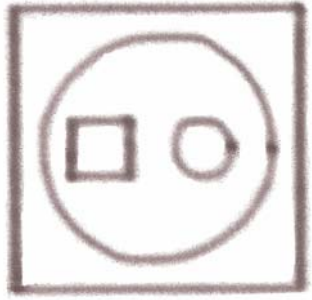
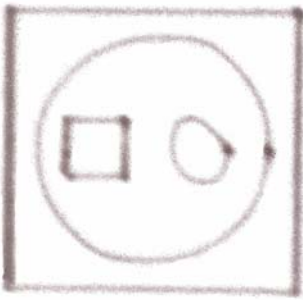

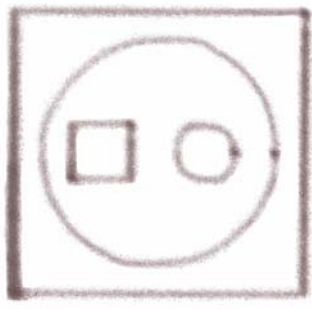



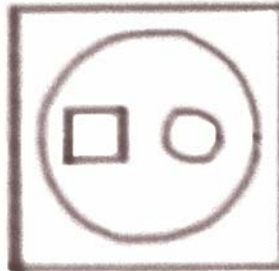
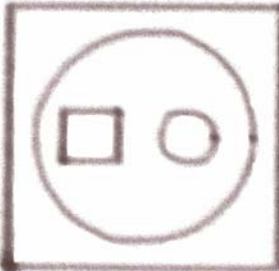



Figura 52 Desenho usado nos testes de trajetória.

Nos testes de trajetória das DP-01/01 e DP-01/02 foram feitos movimentos em diferentes velocidades com o objetivo de encontrar as melhores velocidades da DP-01/02, além da familiarização dos efeitos das alterações com diferentes arranjos e programação de parâmetros de controle PID. Na tabela 43 mostra-se a impressão do resultado do teste de trajetória, as impressões foram digitalizadas do original impresso em folhas A0. Todas as impressões mantiveram as dimensões do desenho original, pelo que neste teste quiere-se expor a influência dos valores de programação dos parâmetros dos controladores nos servoposicionadores, foi diminuído o tamanho da digitalização da impressão do desenho para caber todas esta numa só tabela.

Tabela 43 Impressão do desenho usado no teste de trajetória.

Sem Redutor (DP-01/01)		Com redutor 3:1 (DP-01/02)	
Sobre-passagem X: 1%	Sobre-passagem X: 1%	Sobre-passagem X: 1%	Sobre-passagem X: 1%
Sobre-passagem Y: 4%	Sobre-passagem Y: 1%	Sobre-passagem Y: 1%	Sobre-passagem Y: 1%
			
Velocidade: 104 mm/seg			
			
Velocidade: 86 mm/seg			
			
Velocidade: 69 mm/seg			

Sem Redutor (DP-01/01)		Com redutor 3:1 (DP-01/02)
Sobre-passagem X: 1%	Sobre-passagem X: 1%	Sobre-passagem X: 1%
Sobre-passagem Y: 4%	Sobre-passagem Y: 1%	Sobre-passagem Y: 1%
		
Velocidade: 52 mm/seg		
		
Velocidade: 35 mm/seg		
		
Velocidade: 17 mm/seg		
		
Velocidade: 14 mm/seg		

Sem Redutor (DP-01/01)		Com redutor 3:1 (DP-01/02)
Sobre-passagem X: 1%	Sobre-passagem X: 1%	Sobre-passagem X: 1%
Sobre-passagem Y: 4%	Sobre-passagem Y: 1%	Sobre-passagem Y: 1%
		
Velocidade: 10 mm/seg		
		
Velocidade: 7 mm/seg		

O efeito da sobre-passagem é percebido mais claramente nas impressões que requiseram o eixo Y, devido a sua maior dificuldade para se controlar (maior inércia), note-se as linhas verticais dos desenhos (independente da sua programação dos parâmetros PID em 1 ou 4% e com uso ou não do redutor).

O efeito da sobre-passagem em baixas velocidades não desaparece, mas fica minimizado. Na geração de figuras interpoladas, p/ex, circunferência onde é preciso uma interação dos dois servoposicionadores, o eixo Y (que suporta a carga do eixo X, além de sua própria), tem que ter maior características dinâmicas que o eixo X para poder acompanhar a movimentação. Isto não acontece nas DP-01/01 e DP-01/02 onde o sistema tem o eixo X com maior dinâmica do que a do o eixo Y, que não foi concebida para operação vetorial (interpolações), mas sim foi projetada para operações em movimento tipo varredura (*raster*), em que os servoposicionadores trabalham independentemente, nunca interagindo. Constata-se que a montagem no eixo Y de um redutor e de servomotor igual ao usado no eixo X, efetivamente permite maiores acelerações de movimento do equipamento, obtendo melhores resultados na impressão. (já a 52 mm/seg a impressão fica muito melhor na DP-01/02, que as impressões nas mesma velocidade da DP-01/01).

5.6.4. Teste de repetibilidade da DP-01/02

O objetivo deste teste é medir a correlação entre as mesmas linhas do desenho imprimindo-se este reiterativamente sem desligar o equipamento. Usou-se para isto o mesmo desenho aplicado aos testes de trajetória. Na figura 53 é mostrado o resultado deste teste. A imagem foi digitalizada e ampliada em um dos seus vértices em 10X. Este teste é uma análise básica das linhas produzidas pelo aerógrafo e da resolução que poderá ser atingida com o sistema da DP-01/02, não existindo rigor nas incertezas de medição. O mesmo efeito explicado e medido na impressão na coordenada Y, também é observado na coordenada X.

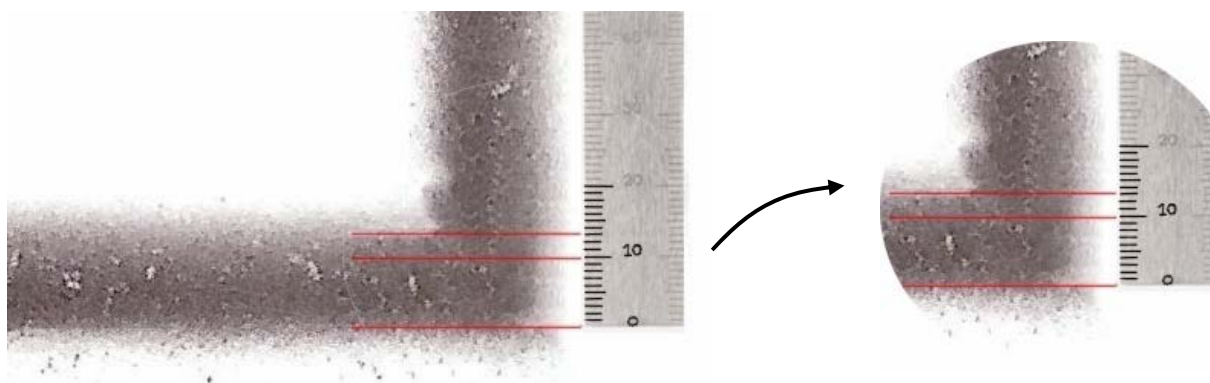





























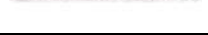
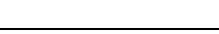
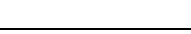
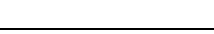
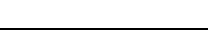
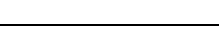
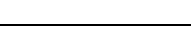
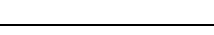
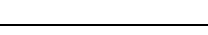
Figura 53 Teste de repetibilidade do equipamento.

O erro encontrado neste teste foi de $\pm 0,3\text{mm}$ nos dois eixos, sendo a largura do jato de tinta de $1 \pm 0,3\text{mm}$, obtendo-se um erro no máximo de 30%. Este erro de seguimento na DP-01/02 é devido à elevada inércia a acelerar, principalmente de ter-se adaptado o equipamento para um tipo de movimento para o qual não foi concebido.

5.6.5. Teste das características do jato de tinta do aerógrafo

A finalidade deste teste é obter dados sobre velocidades de movimento dos posicionadores transportando o aerógrafo, bem como as “alturas” de fixação do aerógrafo para determinada distância entre o bico ejetor e o material a imprimir. Na tabela 44 mostra-se os resultados das impressões com aerógrafo em função desta distância, quando movimentado em linha reta segundo o eixo X.

Tabela 44 Teste da largura do jato de tinta a diferentes “alturas” e velocidades.

Velocidade	Altura do aerógrafo			
	3 mm	5 mm	8 mm	12 mm
7 mm/seg.				
17 mm/seg.				
35 mm/seg.				
69 mm/seg.				
104 mm/seg.				
138 mm/seg.				
173 mm/seg.				
207 mm/seg.				
242 mm/seg.				

5.6.6. Teste do efeito de diferentes tempos de pausa nos deslocamentos com a DP-01/02

Uma das interessantes características do *software* usado na geração das trajetórias é permitir o uso de diferentes velocidades, segundo o modo de deslocamento:

- Deslocamento sem ativar ferramenta (avanço rápido).
- Deslocamento com a ferramenta ativa (velocidade de avanço dependente da característica de usinagem de cada uma das ferramentas a ativar).

Esta variação de velocidade de movimento de posicionamento é adotada para obter tempos totais menores de execução de um “serviço” (p/ex, uma impressão completa). Aqui tem que se considerar o erro de seguimento produzido na movimentação de grandes inércias sob forte aceleração. Para a correção deste erro de seguimento é conveniente intercalar tempos de pausa, equivalentes a tempos de acomodação (anexo 8, figura 86) entre trechos de movimentos seqüenciados com alterações de sentido de movimento. O posicionador espera um “tempo de pausa” para se acomodar e daí começar normalmente o deslocamento seguinte com a

ferramenta ativada e na velocidade programada, dependendo da ferramenta escolhida.

Aplicou-se neste teste o mesmo desenho usado nos testes de trajetória (item 5.6.3), no qual o desenho encontra-se no centro da área de trabalho da DP-01/02. A velocidade de posicionamento da ferramenta usada é de 415 mm/seg. (velocidade de avanço rápido e sem ferramenta ativada) e a velocidade de impressão é de 35 mm/seg. (velocidade de avanço com ferramenta ativada). Os dados das velocidades usadas foram obtidos dos resultados dos testes anteriores (item 5.6.3 e item 5.6.5). Na tabela 45 apresenta-se os resultados deste teste.

Tabela 45 Teste de aplicação de diferentes tempos de parada.

T. parada: 0,2 seg	T. parada: 0,3 seg	T. parada: 0,4 seg
T. parada: 0,5 seg	T. parada: 1 seg	T. parada: 2 seg

Obs. As diferenças de intensidade entre as figuras acima, é resultante do sistema pneumático que ejeta a tinta desde o aerógrafo ao papel, sendo este ativado pelo eletro-válvula de alta velocidade da figura 54.



Figura 54 Eletro-válvula MH2 usada na ativação do jato de tinta, tempo de resposta de 2ms.

O melhor resultado do tempo de parada observo-se para 1 segundo. Tempo necessário para que o pórtico X-Y se estabilize após se movimentar a 415 mm/seg, a escolha de um maior tempo de parada acrescentaria em muito o tempo total de funcionamento do equipamento.

5.7. Exemplos de impressão na DP-01/02

Os parâmetros a seguir, escolhidos depois dos testes realizados, foram aplicados na DP-01/02 no LHW.

- Velocidade de posicionamento: 415 mm/seg.
- Velocidade de impressão: 35 mm/seg.
- Tempo de parada: 1 seg.
- Altura do aerógrafo: 5 mm.
- Pressão de ar: 0,4 psi.
- *Counts* por mm, eixo X: 39.
- *Counts* por mm, eixo Y: 83.

Foram usados dois desenhos de dimensões e características bem distintas. O primeiro desenho (figura 45, retroescavadeira) está posicionado no centro da área útil de trabalho com dimensões de 660 x 960 mm (ocupa o centro da área de trabalho) e o segundo desenho (figura 46 brasão UFSC) com dimensões de 2500 x 1800 mm (impressão feita em três partes, pelo que o desenho é maior ao área de trabalho da DP-01/02). O primeiro desenho apresenta impressão em preto e branco (figura 45); no segundo desenho é impresso em cores básicas (sem combinação) (figura 46). Ambos os desenhos tem preenchimento de algumas áreas.

Os desenhos escolhidos apresentam as seguintes características de impressão:

- Variadas formas geométricas.
- Dimensões reduzidas de algumas geometrias; raio de circunferência desde 1,5 mm e comprimento de linhas desde 2 mm.
- Dimensões dos desenhos no limite da área máxima de trabalho da DP-01/02.
- Preenchimento de algumas áreas nos desenhos.
- No desenho do brasão da UFSC, usaram-se cores básicas na impressão. Imprimiu-se com um aerógrafo em camadas de cor, começando com: cyan, magenta, amarelo, preto e a cor verde (mistura de cyan e amarelo). Após o término da impressão de uma das camadas, o aerógrafo assumia uma determinada posição onde era efetuada a troca do recipiente de tinta, uma vez trocada a cor, reiniciava a impressão da próxima camada.

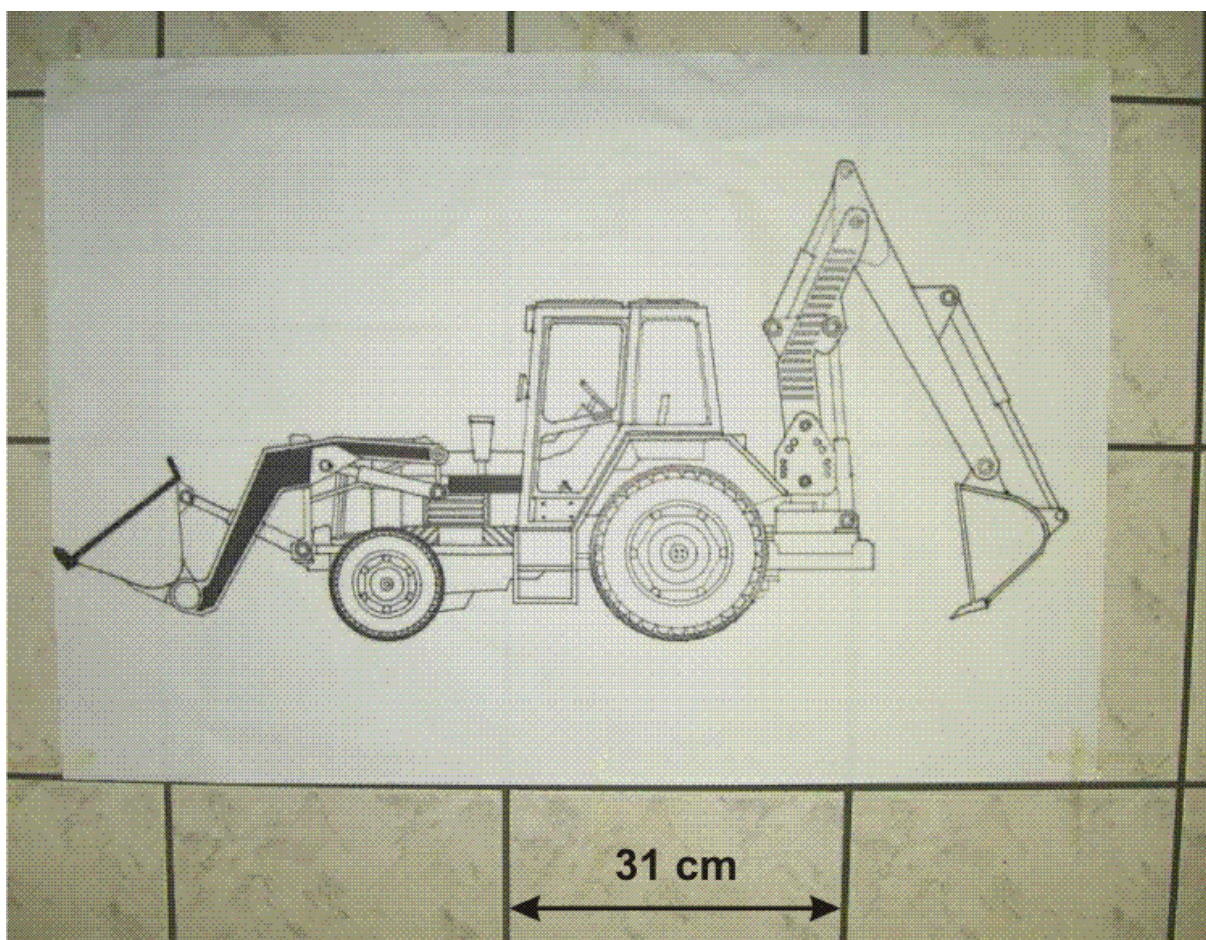


Figura 55 Resultado final da impressão do primeiro desenho em preto e branco (tempo de impressão = 45 min) (660 x 960 mm).

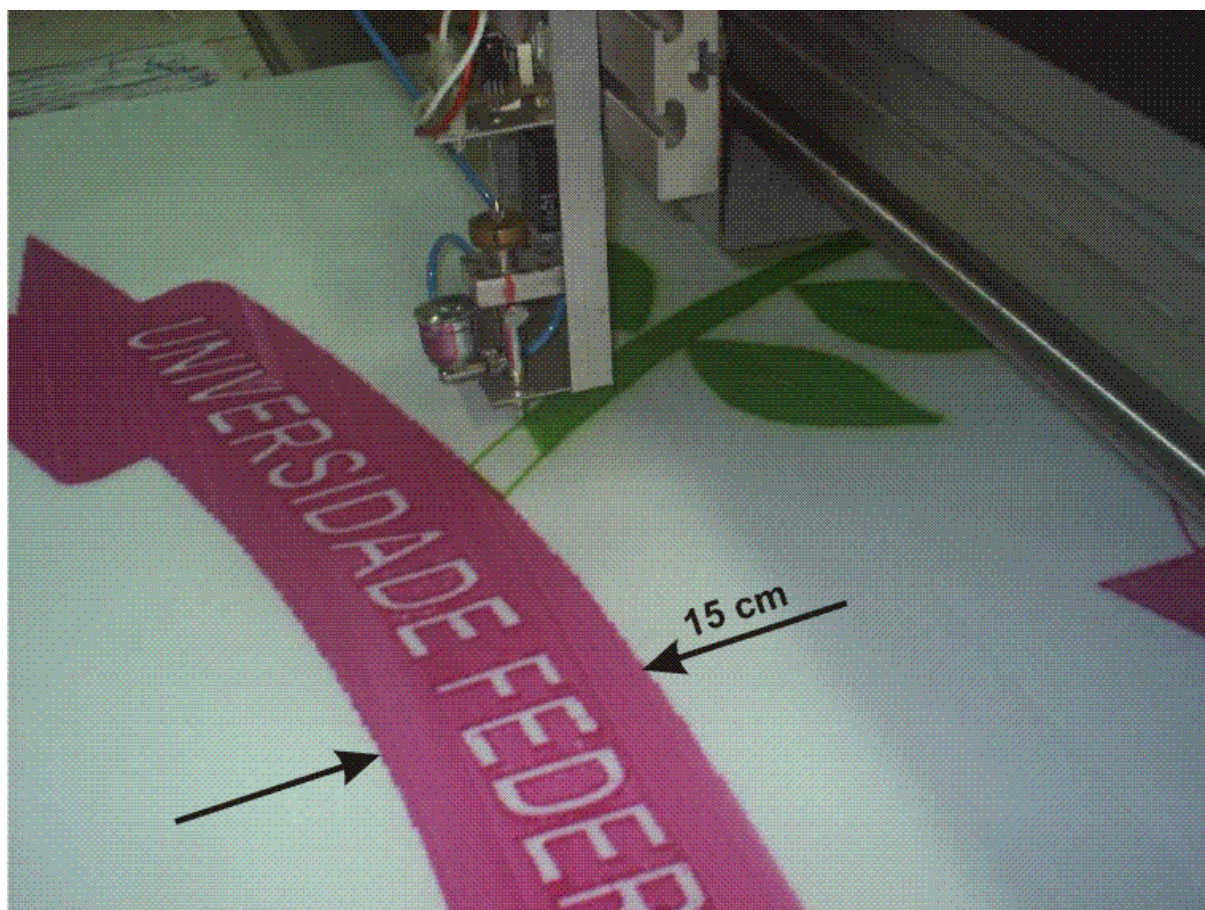


Figura 56 Processo de impressão do segundo desenho em 4 cores básicas.
(tempo de impressão = 150 min) (2500 x 1800 mm).

Concluindo o capítulo; testou-se o programa gerenciador no conjunto impressor DP-01/02 e a configuração do hardware escolhido (PCI-7344), as quais funcionam adequadamente. Na atualidade existem variados modelos e fabricantes deste tipo de placas “*motion control*”, se diferenciando entre eles pelo tipo de barramento (PCI, PCIexpress, AGP, ISA), suas entradas de sinais analógicas ou digitais e taxa de amostragem destas, taxas de amostragem dos servoacionamento, quantidade de eixos a controlar, algoritmo de controle, funções específicas inseridas na sua memória, linguagem da sua programação e o fator mais importante se tem ou não módulo de processamento interno (DSP, *digital signal processor*).

A PCM (NI, 7344) escolhida tem inserido um DSP, permitindo um processamento rápido uma vez inserida a matriz de posicionamento na sua memória, mas o problema de lentidão que o software gerenciador apresentou no processamento da informação decodificada é devido a dois motivos: processamento natural do sistema operacional (*Windows, Linux, etc*) e pela arquitetura de programação do software *Labview*.

No software gerenciador usou-se na sua programação duas funções importantes, as funções: “*blend*” e “*electronic gearing*”, permitindo ótimas resoluções e concordância entre o desenhado em formato DXF e a impressão feita na DP-01/02.

A lentidão de movimentação dos servoacionamentos da DP-01/02 nos testes realizados, é devida á concepção pela que foi projetada (movimentação em varredura, sem interpolação dos eixos, com peso do eixo Y de 118 kg), mas sua velocidade atinge a velocidade de movimento da função LASER (10 mm/seg), mas não atingindo as velocidades entre 400 mm/seg e 900 mm/seg requeridas em outras funções.

A partir dos testes realizados para a DP-01/02, extrapola-se à metodologia usada no EM-01/01 projetado, decorrente da semelhança construtiva do eixo estudado com os eixos que serão usados pelo EM-01/01 projetado.

Capítulo 6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA A CONTINUIDADE

6.1. Conclusões

Neste trabalho de dissertação são apresentados estudo e concepção do sistema de acionamento e controle do EM-01/01, um sistema de posicionamento com 2 ½ graus de liberdade do tipo pórtico X-Y. De acordo com as especificações consideradas, o EM-01/01 atingirá as necessidades reais dos clientes (micro e pequenas empresas de CV), sendo completamente projetado, desenvolvido e montado no país, permitindo assim uma assistência técnica local, imediata, prestada pelo fabricante, a menor custo e com um estoque local permanente de peças e partes. Pela sua ampla área de trabalho, determinada em 1700mm por 2500 mm, poderá processar muitos dos tipos de materiais planos em grandes formatos padronizados, obtendo uma rapidez, precisão e versatilidade de operação com resolução máxima de um décimo de milímetro, suficiente para satisfazer à maioria das exigências no ramo. A interface de programação aceita código G obtidos de arquivos gráficos DXF (vetorial) e arquivo BMP (varredura), que são formatos intensamente usados neste ramo atualmente.

Auxiliado pela aplicação do processo de desenvolvimento de produto, encontrou-se uma ótima escolha nas concepções dos dois pontos mais críticos para

a adequada integração das cinco funções em uma só estrutura, que são: A compatibilização das diferentes superfícies de trabalho e a concepção do cabeçote comportando as cinco ferramentas ativas, organizado em três módulos, além de todos seus acessórios que interagem com a ferramenta e o material. Tudo isto considerando que o EM-01/01 é modular, podendo ser adquirido primeiramente a função que mais se carece em dado momento, e, no futuro, ir ampliando-o para as várias outras funções, através da aquisição dos respectivos módulos específicos.

Com relação a uma eventual obsolescência de uma das cinco funções, por ser modular, não compromete a utilização da máquina; somente precisar-se-ia remover ou atualizar a função obsoleta e os componentes desta; nesta concepção a estrutura da mesa em pórtico X-Y ($2\frac{1}{2}$ grau de liberdade) permanece inalterada.

A planicidade e paralelismo da superfície de trabalho (mesa intercambiável) relativamente ao plano de movimento X-Y é o aspecto mecânico mais crítico do EM-01/01, exigindo componentes e montagem precisos, para garantir a distância ótima entre a ponta da ferramenta e a superfície da mesa, em qualquer ponto da superfície.

Em uma análise financeira preliminar verificou-se que o EM-01/01 poderá ser acessível em comparação a equipamentos comerciais tipo pórtico com mesma área útil de trabalho. Nesta análise foi considerada a estrutura de suporte e os componentes partilhados por todas as funções do EM-01/01. Ainda, nesta análise são considerados, por separado, os componentes específicos de cada uma das cinco funções, bem como o *software* gerenciador que integra as diversas partes do sistema.

No desenvolvimento do EM-01/01 o custo é uma das limitantes fundamentais. Parte desta restrição foi superada pela ótima escolha e integração dos componentes eletro-mecânicos numa mesma estrutura, mas não aconteceu o mesmo na escolha dos componentes do comando/controle. Pelo explicado no item 2.4.5 e item 3.2.10/D optou-se por adquirir uma MCB comercial (aproximadamente US\$2000), sendo mais econômica que um CNC de arquitetura fechada (OEM) (não encontrada no mercado para aplicação específica de equipamento multifunção), mas exige bastante tempo para configuração detalhada. Para soluções de arquitetura aberta, existiria ainda a proposta de aplicação de um hardware próprio, porém o esforço exigido neste desenvolvimento é proibitivo para um usuário final. Portanto, a escolha baseou-se pela maior facilidade e rapidez da integração do sistema todo (mecânico, eletrônico e computacional).

O processamento na MCB, uma vez inserida a matriz de dados de posicionamento, é muito rápido, devido à sua arquitetura especial (aplica um DSP). A MCB realiza todo o comando supervisor, a geração de trajetórias, interpolação e fecha os laços de controle de posição, em dedicação exclusiva para estas funções (hardware específico), liberando o processador do computador hospedeiro destas tarefas de tempo real.

O *software* gerenciador desenvolvido foi testado em equipamento protótipo existente (DP-01/02), mas projetado sob outras especificações constituintes do EM-01/01, movimentando o pórtico X-Y. Simulou-se a ativação e desativação da ferramenta da função plotagem acionando diretamente um aerógrafo; simulou-se a ativação e desativação da ferramenta das funções: impressora, corte/gravação LASER, corte por estiletes e riscadora de vidro, através da ativação e desativação de um display de *LED*'s implementado no próprio cabeçote

O *software* gerenciador desenvolvido em ambiente *Labview* apresenta-se lento no processamento.

Além disso, o *software* desenvolvido requer um pré-processamento de decodificação de arquivos de desenho (vetoriais) em formato DXF para linguagem G. Com isto o processamento lógico-matemático requerido na decodificação, interpretação da linguagem G e posterior preenchimento da matriz de posicionamento, quando feito num PC básico, torna-se muito demorado pelos seguintes motivos:

- Arquitetura imposta pela linguagem gráfica *Labview*, limita a flexibilidade da programação, por ter que atender a uma seqüência predefinida pela própria linguagem, fazendo com que demore mais.
- O processamento do *software* gerenciador é feito todo no hardware não-específico (processador hospedeiro), em processamento compartilhado, gerenciado pelo sistema operacional *Windows*.

No capítulo 4 primeiramente foi mostrada a modelação dinâmica do eixo X com base no estudo de caso usando o protótipo existente (DP-01/02). Este modelo foi simulado no *software Simulink*. Paralelamente usando o *software MAX* (*software* usado na sintonização da MCB) verificou-se o comportamento dinâmico real do eixo X da DP-01/02. Os resultados desta simulação e operação experimental mostram uma boa concordância. Fica assim validado o modelo dinâmico realizado para a DP-01/02. Como o modelo dinâmico de ambos os eixos (X e Y) do EM-01/01 é

semelhante (a exceção dos redutores, eixo X 2:1 e eixo Y 4:1) ao modelo do eixo X da DP-01/02, ficam automaticamente validados também estes resultados para o equipamento projetado.

O objetivo principal desta validação foi certificar a boa seleção e dimensionamento dos componentes eletro-mecânicos; além disso, que a disposição dos blocos do modelo dinâmico seja a representação mais próxima possível da realidade. Adicionalmente, os fenômenos observados quando é realizado o tensionamento da correia sincronizadora sobre as polias dentadas foram quantificados e introduzidos no modelo (geralmente omitidos das simulações de sistemas servoposicionadores).

A simulação da MCB foi feita considerando operação em tempo contínuo, tendo na realidade comportamento discreto, com frequência de amostragem definida na MCB. Os resultados da simulação assim obtidos, como já foi mostrado, apresentam boa concordância com os resultados de medição da dinâmica na DP-01/01. Com isso não se considerou a necessidade de fazer a modelação do comportamento discreto da MCB. Além disso, a influência dos parâmetros dos servoposicionadores sobre os resultados da simulação é muito mais intensa na precisão do resultado. Por tanto não é necessária a simulação do comportamento discreto do sistema.

A frequência de amostragem da PCM é de 4 kHz por eixo, sendo muito maior da frequência natural do sistema 0,15 kHz ($>>$ do que 10 vezes).

Tanto na simulação dinâmica quanto através da análise do comportamento durante as plotagens da figura-padrão na DP-01/02, observou-se também um subdimensionamento do eixo Y em operação vetorial para a massa deste eixo (118kg). Nesse tipo de operação necessita-se um comportamento dinâmico idêntico de todos os eixos envolvidos numa interpolação. Na DP-01/02 não se previu interpolação pois foi projetada para realizar apenas impressão digital (*raster*).

Os resultados dos testes no equipamento-protótipo DP-01/02 utilizando aerógrafo como apresentado no item 5.6, foram satisfatórios, considerando principalmente que o equipamento em que foram feitos os testes não foi projetado para movimentação no modo vetorial (que exige interpolação dos eixos). Estes bons resultados foram conseguidos devido à adequada escolha dos parâmetros de controle (PID), e pela inserção de um redutor no eixo Y, que tem a carga inercial maior. Encontrou-se uma ótima escolha dos parâmetros da MCB, apresentando sobre-passagem inferior a 1%, sendo livre de vibrações ao longo de toda sua superfície de trabalho. Graças à utilização de programação adequada não foram

mais registrados pontos de emenda entre segmentos de trajetória consecutivos e, mesmo usando fatores de redução diferentes nos dois eixos, foi possível obter segmentos de arco de acordo com a geometria desejada.

Não satisfatória resultou a rapidez de movimentação do sistema X-Y. À velocidade máxima de movimento que a DP-01/02 permite alcançar, ela pode realizar folgadamente a função corte/gravação LASER ▼. Já para as funções corte por estilete, riscagem de vidro, plotagem e impressão digital também, pode-se usar a DP-01/02, mas sua velocidade de movimento fica muito aquém dos requisitos de projeto definidos para o EM-01/01.

6.2. Sugestões para desenvolvimentos futuros

Inicialmente uma sugestão para uma melhora da dinâmica do eixo Y da DP-01/02. A saída da transmissão transformadora (do sistema mecânico rotacional, composto por servomotor e redutor) poderia ser transferida da extremidade esquerda para uma posição no meio do comprimento do eixo X, e unida por dois semi-eixos a dois sistemas de transmissão conversora (conversão de movimento rotativo em translativo), sendo um sobre cada guia do eixo Y (está representado esquematicamente na tabela 25, item movimentação do eixo Y, servomotor na metade do eixo). Com isso em ambas as guias Y seria aplicado o mesmo esforço de movimentação, evitando o arraste na guia passiva via portal a partir da guia do lado motorizado, que devido às dimensões causa atualmente um leve desalinhamento dinâmico do pórtico e oscilações no lado da guia passiva. Esta melhora da dinâmica do eixo Y faz com que este possa ser movimentado com maior rapidez da qual atualmente é conseguida.

As sugestões mais importantes para o EM-01/01 constam de cinco pontos:

No *software* gerenciador, seria o desenvolvimento de um *driver* (de *software*) para que o EM-01/01 possa ser instalado tal como uma impressora de mesa (como periférico de qualquer computador), conectado pela porta paralela, USB, etc. Assim, após realizado um desenho em qualquer dos *softwares* comerciais e enviado deles mesmos para impressão, se gere em seguida uma tela (igual ao que sucede nos *softwares* comerciais, quando se envia algum arquivo para ser impresso) atestando a conexão com o EM-01/01. Nesta tela o usuário teria acesso a modificações básicas de cada uma destas cinco funções da EM-01/01 (p/ex, resolução, tipo de

▼ LASER “Firestar” potência 100W, material a cortar acrílico de diferentes espessuras

Espessura de 10 mm, velocidade máxima 8,6 mm/s; espessura 5 mm, velocidade máxima 24,2 mm/s

função a ser trabalhada, etc). Internamente verificar-se-ia se a função escolhida está operacional, definiria as propriedades e ainda definiria o formato do arquivo escolhido em relação a esta função. Feito isso o software gerenciador aceitaria o comando de início de operação e envio de arquivo ao EM-01/01.

Uma segunda sugestão para o EM-01/01 é poder ler diretamente o arquivo do tipo vetor (DXF) produzido nos *softwares* comerciais e decodificá-lo diretamente, sem a necessidade de realizar um pré-processamento (decodificar para a linguagem G), permitindo tempos de processamento mais curtos. No caso da leitura dos arquivos do tipo varredura (BMP) a decodificação já é direta e mais rápida.

Uma terceira sugestão é relativa à demora de processamento que depende da quantidade de dados a serem processados e fundamentalmente depende da escolha adequada da linguagem de programação do software gerenciador, p/ex., usando linguagem de programação C++, *Visual Basic*, etc. ao invés de *Labview*.

Uma quarta sugestão para trabalhos futuros é realizar o processamento necessário completo no próprio EM-01/01, numa plataforma física exclusiva, quer dizer, um processador exclusivo, envolvendo minimamente o processador hospedeiro (em que executa o sistema operacional Windows, etc) pois este está continuamente ocupado. Esta opção não foi considerada pelo seu alto custo de implementação.

Uma quinta sugestão, que exigiria muito desenvolvimento, seria realizar todo o processamento que é feito atualmente no sistema MCB da NI-PCI 7344 (controles supervisor, geração de trajetórias, interpolação, laço de controle e entrada e saídas de sinais) em *software*, usando somente uma placa MCB com o software customizado de dados; Isto permitiria não necessitando um sistema pre-programado, como o usado (custo aproximado US\$2000); mas requeria-se ser feito um software gerenciador completo que, além das decodificações dos formatos de arquivos, gerencie o controle supervisor, gere trajetórias, interpole e feche o laço de controle. Esta opção não foi considerada pelo seu alto tempo requerido para sua implementação (programação).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN BRADLEY, ROCKWELL AUTOMATION, companies, inc. Disponível em: <http://www.ab.com/catalogs/sensors/r00-general.pdf>. Acesso em: Fevereiro 2006.

ALTAIR, G. R. DE J. uma contribuição para o desenvolvimento e controle de sistemas de posicionamento submicrométricos, 1999. 194 pg. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

BIANCHI, K. E. Concepção de uma máquina cnc para medição e usinagem de peças em madeira, 1996. 111 pg. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Centro Tecnológico - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

BURGOA, D. P. Análise e desenvolvimento de um sistema impressor raster de formato extra-largo. 2004. 187 pg. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

CABRERA, M. A. Modelo de una junta con torsión: cátedra de robótica, Facultad de Ingenieria Bioingeniería, Universidad Nacional de Entre Rios, Argentina. Disponível em: <http://www.bioingenieria.edu.ar/academica/catedras/robotica/>. Acesso em: Julio, 2005.

CASTRO, H. F. F. Orientações para seleção e projeto de guias de máquinas-ferramenta. 1987. 268 pg. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Centro Tecnológico - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

DORF, R. C. The engineering handbook, 2 editions. 2808 pg. New York, publisher of CRC. June, 2004.

EVERET H. R., “Sensors for Mobile Robots: Theory and Application”. A K Peters Ltd. 1995.

FERREIRA FONSECA, C. C. Um estudo sobre arquivos vetoriais para visualização de mapas na web, 1998. 84 pg. Dissertação (Mestrado em engenharia de Informática) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

FONSECA, H, JORGE A. Sistematização do processo de obtenção das especificações de projeto de produtos industriais e sua implementação computacional, 2000. 180 pg. Tese – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

FRANKLIN, G. F. Feedback control of dynamic systems, 2002. 910 pg. New Jersey Prentice hall, 4th ed.

GERRY, J. A comparison of PID control algorithms, control engineering, vol. 34 nº 3, May 1987.

GERRY, J. SHINSKEY F.G. Pid controller specification (white paper)", exper-tune inc. August, 2000.

GMS, Produtos gráficos. Fornecedor de Antalis. Disponível em: <http://www.gms.cl/>. Acesso em: Setembro, 2005.

HUGH, JACK. Integration and automation of manufacturing systems (Sept., 2001);
Automated manufacturing systems; plcs (April, 2006);
Engineering analysis (May, 2006);
Dynamic system modeling and control (January, 2006);
Engineering implementation (August, 2006). Disponível em:
<http://claymore.engineer.gvsu.edu/~jackh/books.html>. Acesso em: Agosto, 2006.

JONES, PHILIP. A publicidade como negócio, 2002. 512 pg. Tradução de: The advertising business. São Paulo, Editorial Nobel.

KRUGER, P. R. Avaliação da dinâmica de servoacionamentos CA síncronos e transmissões por polias e correia sincronizadora aplicados em máquinas-ferramenta cnc. 1993. 133 pg. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Centro Tecnológico - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

LICHTBLAU, M. Uma contribuição ao estudo da dinâmica de posicionadores. 1989. 98 pg. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Centro Tecnológico - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MAX M. D. SANTOS, Modelagem, escalonamento e controle de um sistema de mesa-XY, 4o congresso temático de dinâmica, controle e aplicações, 2005.

OGATA, K. Engenharia de controle moderno. 4ta edição, 1985. 929 pg. Editorial Prentice/Hall do Brasil, Rio de Janeiro.

MARTIN, C. A. Acionamento de avanço para máquinas-ferramenta.

Acionamentos eletromecânicos em automação de máquinas e instrumentos.

Curso de sistema de controle e sua dinâmica.

Apostilas de curso – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

NeDIP- Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos. Software WinQFD. Disponível em: <http://www.nedip.ufsc.br/index.php?n=Pesquisas.Softwares>. Acesso em: Agosto, 2004.

NI – NATIONAL INSTRUMENT. Pid control toolset user manual, (October, 2004).

Motion control, (May, 2006).

Flexmotion software reference manual, (June, 2003).

Flexmotion control loop, (October, 2004).

Configuration max, (February, 2005).

G programming reference manual, (April, 2004).

Disponível em: <http://www.ni.com/>. Acesso em: Agosto, 2004.

PARKER AUTOMATION. Tecnologia eletromecânica. Apostila 1600.231.01 br, Outubro 2003. Disponível em: <http://www.parker.com/automationgroup/indexv4.asp>. Acesso em: Setembro, 2004.

PAZOS, F. Automação de sistemas & robótica, 2002. 377 pg. Editorial Axcel Books do Brasil, Rio de Janeiro.

POPOVI'C, D. V. Mechatronics in engineering design and product development. 1999. 615 pg. New York: m. Dekker.

ROZENFELD, H. et. al. Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo, 1 edição. 542 pg. Editora Saraiva. São Paulo 2005.

SCIAVICCO, L. Modeling and control of robot manipulators. 1996, 378 pg. USA, McGraw-Hill companies, Inc.

SHAVER, M. A. Como vender a mídia: o marketing como ferramenta de venda do espaço publicitário, 2002. 304 pg. Sao Paulo, editorial Nobel.

SHEARER, J L. Introduction to system dynamics, 1967. 420 pg. USA, reading: Addison-Wesley.

SHIGLEY, J. E. Manual de diseño mecánico, 1989. 915 pg. México, editorial McGraw-Hill companies, Inc. 4th ed.

SOARES, L. F. Mesa de coordenadas xy para aplicação em microengenharia com CNC : Projeto e analise, 1988. 130 pg. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Centro Tecnológico - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

STOETERAU, R. L. Desenvolvimento do protótipo de uma máquina-ferramenta comandada numericamente para usinagem de ultraprecisão com ferramenta de geometria definida, 1999. 217 pg. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

TELES DE SOUZA, G. Controle e automação industrial, 2004. 232 pg. Curso da escola técnica estadual Pedro Ferreira Alves.

THOMPSON, J. B. A mídia e a modernidade: uma teoria social da mídia, 2002. 261 pg. Editorial Petrópolis, Vozes.

TRIVEÑO, F. J. Controle força-posição de robôs manipuladores: modelagem, projeto de controladores e resultados experimentais, 2000. 111 pg. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

UNBEHAUEN, H. Control systems, robotics and automation, in: Encyclopedia of life support systems, publishers Oxford, UK, 1996.

VARGAS SOTO, J. E. Metodología aplicada al desarrollo de máquinas mecatrónicas, centro de ingeniería y desarrollo industrial. México, Querétaro, Qro.

WALDEN, D. The new american TQM, center for quality of management, productivity Press, Portland, Oregon.

ANEXO 1. Materiais aplicados em diferentes serviços de CV (GMS, 2005)

Tipo de publicidade	Material	Modulo de equipamento
Letreiros Luminosos	Telas <i>Backlite</i> Vinis Translúcidos <i>Premasking</i>	Corte por estilete Impressora Plotagem
Decoração de Veículo	Vinis de Corte (duas camadas)	Corte por estilete
Placas Sinalizadoras	<i>Pre-masking</i> Vinis Especiais de Impressão Vinil Flexível Imantado Vinis Vidros Vinis para chãos Vinis de segurança	Corte por estilete Impressora Plotagem
Impressão Digital	Vinis de Impressão Papelão/ Papelão Sintético Vinil/ Lamina Lonas	Corte por estilete Impressora Plotagem
Suporte para Comunicação Visual	<i>Eskaprint</i> <i>Foam' X</i> PAI (Poliestireno de alto impacto) Acrílicos PVC Espumado Polipropileno Alveolar (PP) PVC Imantado <i>Velcro</i>	Corte por estilete Impressora Corte, grav. LASER Plotagem
Etiquetas Auto-adesivas	Papelão Opaco Papelão Semi-Brilho Papelão Alto Brilho Papelões Metalizados Papelões especiais Papelões Radiais	Corte por estilete Impressora Plotagem

Tipo de publicidade	Material	Modulo de equipamento
Telas PVC	<i>Backlit</i> <i>Frontlit</i> <i>Mesh</i> <i>Banner WI</i>	Corte por estilete
Gravações / cortes	tecidos	Corte por estilete Corte, grav. LASER
Gravações / cortes	Madeira Acrílico Couro	Impressora Corte, grav. LASER
Gravações / cortes	Vidros	Riscado de vidro Corte, grav. LASER

ANEXO 2. Equipamentos multifuncionais

A.2.1. Equipamentos uni-funcionais

Equipamento de Impressão (figura 57).

Nome do fabricante	: Zünd Systemtechnik AG.
Nome do modelo	: Uvjet_215-plus.
Pais de fabricação	: Alemanha.
Tipo de movimentos do pórtico	: Varredura.
Quantidades de ferramentas no cabeçote	: Seis cartuchos, com realimentação de tinta para não deixar de imprimir por falta de tinta.
Dimensão útil de serviço	: 2150 por 3760 mm.
Material da superfície de trabalho	: Alumínio.
Resolução	: 360 por 360 dpi.
Velocidade máxima de movimento	: 38 m ² por hora A velocidade mais comum é de 20 a 25 m ² por hora.
Conexão interface equipamento /computador	: Ethernet 100 base T, conexão de 15 pinos.
Quantidade eixos móveis	: Só o eixo X, o eixo Y é fixo, a lamina a imprimir e movimentada por rolos.
Tipo de motor usado na movimentação	: Servomotor.
Tipo de fixação do material	: Rolo e laminas de alumínio.
Cabeçote fixo ou intercambiável	: Cabeçote fixo, cartuchos intercambiáveis.
Sistema de transmissão de movimento	: O eixo X é movimentado por correia e polia sincronizadora.
Formatos de leitura do equipamento	: Interface gráfica simples, o software é específico do equipamento e permite ler formatos HP-RTL (<i>Raster Transfer Language</i>).



Figura 57 Impressora, modelo *UVJET_215-plus*.

Equipamento de corte de vidro. Estes equipamentos apresentam maiores diferenças em relação às demais (figura 58).

Nome do fabricante	: <i>Z. Bavelloni company.</i>
Nome do modelo	: <i>VER 370PR.</i>
Pais de fabricação	: Itália.
Tipo de movimentos do pórtico	: Vetorial e Varredura.
Quantidades de ferramentas no cabeçote	: Um cabeçote com capacidade para uma caneta com ponta de diamante.
Dimensão útil de serviço	: 2600 por 3710 mm.
Material da superfície de trabalho	: borracha.
Resolução	: $\pm 0,25$ mm.
Velocidade máxima de movimento	: 2100 mm/s, mas no catálogo limita que na prática vai chegar máximo até 1500 mm/s. É um dos equipamentos mais rápidos existente no mercado.
Aceleração máxima de movimento	: 8 m/seg^2 (0,8G).
Conexão interface equipamento /computador	: <i>Ethernet</i> 100 base T, conexão de 15 pinos.
Quantidade eixos móveis	: Dois eixos, X e Y.
Tipo de motor usado na movimentação	: Servomotor <i>Brushless</i> .
Tipo de fixação do material	: O vidro fica fixo pela sucção das ventosas.
Cabeçote fixo ou intercambiável	: Cabeçote fixo.

Sistema de transmissão de movimento	: Correia sincronizadora com polia, este conjunto sobre uma trilha.
Formatos de leitura do equipamento	: Interface gráfica simples, o software é específico do equipamento e permite ler formatos BMP, JPEG, TIF, DSG e DXF.



Figura 58 Corte de vidro, modelo VER 370PR.

Equipamento de corte e gravação LASER (figura 59).

Nome do fabricante	: AUTOMATISA Sistemas Ltda.
Nome do modelo	: <i>Acrila</i> .
Pais de fabricação	: Brasil.
Tipo de movimentos do pórtico	: Vetorial no corte e Varredura na gravação.
Quantidades de ferramentas no cabeçote	: Um cabeçote com capacidade para o bico onde está o sistema de focos.
Dimensão útil de serviço	: 2500 por 1500 mm.
Material da superfície de trabalho	: Laminas de aço.
Resolução	: $\pm 0,01$ mm.
Velocidade máxima de movimento	: 25 mm/seg, para corte de uma placa de acrílico de espessura 10 mm. Com um LASER CO ₂ , de 250 W.
Conexão interface equipamento /computador	: Ethernet 100 base T, conexão de 15 pinos.

Quantidade eixos móveis	: 2 ½ eixos.
Tipo de motor usado na movimentação	: Servomotor.
Tipo de fixação do material	: Não existe contato físico com o material, então não precisam de um sistema de fixação.
Cabeçote fixo ou intercambiável	: Cabeçote fixo.
Sistema de transmissão de movimento	: Fuso e casquilho, em seus dois eixos X e Y.
Formatos de leitura do equipamento	: Interface gráfica robusta, o software trabalha com <i>Coreldraw</i> , <i>Autocad</i> , etc. com leitura dos formatos DXF e PLT.



Figura 59 Corte e gravação LASER, modelo *Acrila*.

Equipamento de corte por estilete e plotagem. Neste tipo de equipamentos é usado a mesma porta ferramenta de estilete para corte e caneta para plotagem, não foi achado sistemas uni-funcionais deste tipo (figura 60).

Nome do fabricante	: <i>Data Technology</i> .
Nome do modelo	: DT-170W.
Pais de fabricação	: USA.
Tipo de movimentos do pórtico	: Vetorial.
Quantidades de ferramentas no cabeçote	: Um cabeçote com capacidade para dois estiletes e uma caneta.
Dimensão útil de serviço	: 1518 por 1648 mm.

Material da superfície de trabalho	: Alumínio.
Resolução	: $\pm 0,025$ mm.
Velocidade máxima de movimento	: 810 mm/seg.
Aceleração máxima de movimento	: $10,638 \text{ m/seg}^2$ (1,08G).
Conexão interface equipamento /computador	: Ethernet 100 base T, conexão de 15 pinos.
Quantidade eixos móveis	: $2 \frac{1}{2}$ eixos, a altura de posicionamento do cabeçote é movimentada por ar comprimido.
Tipo de motor usado na movimentação	: Servomotor.
Tipo de fixação do material	: Vácuo produzido por ar comprimido.
Cabeçote fixo ou intercambiável	: Cabeçote intercambiável.
Sistema de transmissão de movimento	: Correia sincronizadora com polia.
Formatos de leitura do equipamento	: Interface gráfica robusta, o software trabalha com aplicações comerciais como <i>Coreldraw</i> , <i>Autocad</i> .



Figura 60 Corte por estiletes, modelo DT6646.

A.2.2. Equipamento bi-funcionais

Nos equipamentos de tipo bi ou multifuncional a diferença entre cada aplicação vai depender de dois parâmetros críticos: a troca da ferramenta que está no cabeçote e a troca da superfície aonde vão se depositar o material a ser trabalhado. Este tipo de equipamento existe em maior número de versões permite instalar no mesmo cabeçote estiletes e caneta para plotagem. Na pesquisa deste tipo de equipamentos além das mesmas características listadas nos equipamentos de tipo

uni-funcional, foram adicionadas as seguintes características que determinam as especificações do cabeçote e da superfície de trabalho.

- Formas de ferramentas do mesmo tipo.
- Quantidades de ferramentas.
- Acionamento das ferramentas.
- Diferenças da superfície de trabalho entre diferentes equipamentos.

Equipamento de corte por estilete e plotagem por caneta. É sem dúvida o tipo de equipamentos mais comum de achar (figura 61).

Nome do fabricante	: <i>Graphtec American Inc.</i>
Nome do modelo	: FC-4200.
Pais de fabricação	: USA.
Tipo de movimentos do pórtico	: Vetorial.
Quantidades de ferramentas no cabeçote	: Um cabeçote com capacidade para dois estiletes e uma caneta.
Dimensão útil de serviço	: 998 por 1220 mm.
Material da superfície de trabalho	: Alumínio.
Resolução	: $\pm 0,004$ mm.
Velocidade máxima de movimento	: 600 mm/seg.
Conexão interface equipamento /computador	: RS-232C, IEEE-1284 Paralelo, USB
Quantidade eixos móveis	: 2 ½ eixos.
Tipo de motor usado na movimentação	: Servomotor.
Tipo de fixação do material	: Vácuo produzido por ar comprimido.
Cabeçote fixo ou intercambiável	: Cabeçote fixo, ferramentas intercambiável.
Sistema de transmissão de movimento	: Correia assíncrona e polia.
Formatos de leitura do equipamento	: Interface gráfica, o software trabalha com aplicações comerciais como <i>Coreldraw</i> , <i>Autocad</i> .
Formas de ferramentas do mesmo tipo	: Estiletes de tipo tangencial, oscilatória, de roda e para corte de adesivos. Ferramenta de plotagem, caneta.
Quantidades de portos para as ferramentas no cabeçote	: Três configurações; Uma para estilete tangencial com adaptador para estilete por roda, outra para estiletes oscilatórios, e a terceira para

estiletes de corte de adesivos com adaptador para caneta (figura 62).

Acionamento das ferramentas : Ar comprimido

Diferencias da superfície de trabalho : neste tipo de configurações não existe diferencia entre os tipos e superfície de trabalho, as duas precisam de superfície lisa pela existência de contacto entre a ferramenta e a chapa.



Figura 61 Equipamento bi-funcional, de corte por estilete e plotagem por caneta.

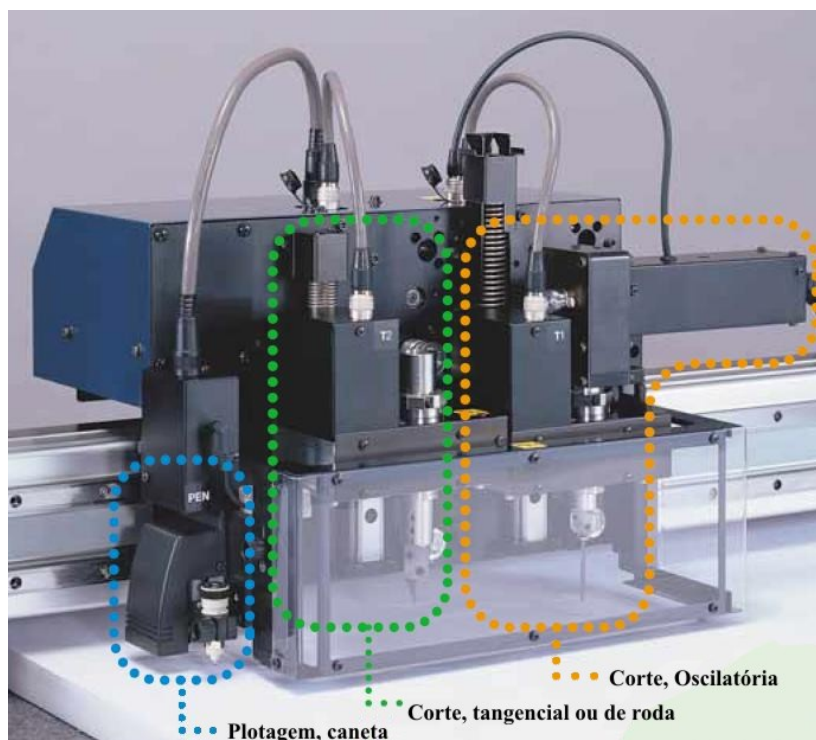


Figura 62 Cabeçote de três configurações para cinco tipos de ferramenta.

Equipamento de corte por estilete e corte ou gravação por LASER.

Nome do fabricante	: Zund Systemtechnik AG.
Nome do modelo	: 2XL3000.
País de fabricação	: Alemanha.
Tipo de movimentos do pórtico	: Vetorial/Varredura.
Quantidades de ferramentas no cabeçote	: Dois cabeçotes, um deles com o bico LASER, o outro com capacidade para dois estiletes e uma caneta.
Dimensão útil de serviço	: 1210 por 3150 mm.
Material da superfície de trabalho	: Colméia de alumínio par o LASER e chapa de acrílico para o corte por estilete.
Resolução	: $\pm 0,05$ mm.
Velocidade máxima de movimento	: 1000 mm/seg.
Aceleração máxima de movimento	: $7,5 \text{ m/seg}^2$ (0,78G).
Conexão interface equipamento /computador	: RS-232C, IEEE-1284, Paralelo.
Quantidade eixos móveis	: Dois eixos para pórtico XY e dois só para posicionamento.
Tipo de motor usado na movimentação	: Servomotor.
Tipo de fixação do material	: Vácuo produzido por ar comprimido.
Cabeçote fixo ou intercambiável	: Dois Cabeçotes intercambiáveis, Um para o sistema LASER e o outro para corte por estiletes, este possui ferramentas intercambiável. Ver figuras 63 e 64.
Sistema de transmissão de movimento	: Correia assíncrona e polia.
Formatos de leitura do equipamento	: Interface gráfica, trabalha com software comercial <i>Coreldraw</i> .
Formas de ferramentas do mesmo tipo	: Estiletes de tipo tangencial, oscilatória, de roda e para corte de adesivos. Ferramenta de plotagem, caneta. LASER CO ₂ .

Quantidades de portos para as ferramentas no cabeçote:

Três configurações no cabeçote de estiletes; Uma para estilete tangencial com adaptador para estilete por roda,

outra para estiletes oscilatórios, e a terceira para estiletes de corte de adesivos com adaptador para caneta.

Um cabeçote exclusivo para o LASER.

Acionamento das ferramentas : Ar comprimido.

Diferencias da superfície de trabalho : Neste tipo de configurações existem dois tipos de superfície totalmente diferentes. A superfície de apoio onde é colocado o material que vai ser trabalhado pelo LASER tem que possuir pouca área de contato geralmente é uma colméia de alumínio ou laminas de aço. Enquanto no corte por estiletes a superfície requerida para tem que ser lisa e sem ondulações.

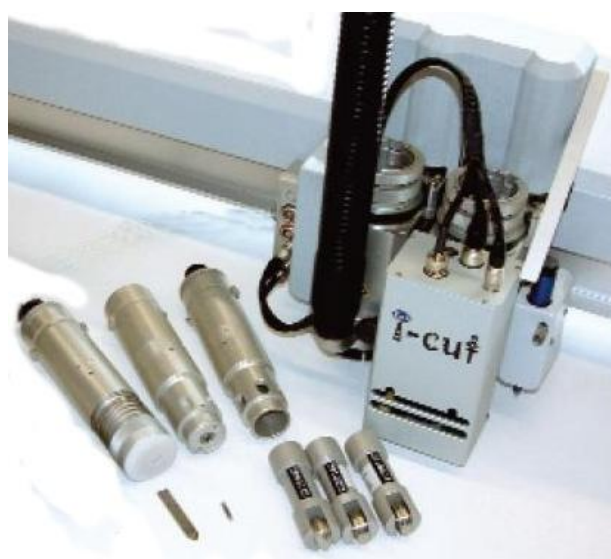


Figura 63 Cabeçote porta Estiletes e Caneta.



Figura 64 Cabeçote porta bico LASER.

A.2.3. Equipamentos multifuncionais

O único equipamento multifuncional encontrada na literatura é a apresentada a continuação (figura 65).

Nome do fabricante	: <i>Mechatron</i> (na atualidade o nome da empresa é <i>Zund Systemtechnik AG</i>).
Nome do modelo	: <i>Variotron</i> .
País de fabricação	: Alemanha.
Tipo de movimentos do pórtico	: Vetorial / Varredura.
Quantidades de ferramentas no cabeçote	: Um cabeçote com capacidade para uma fresa, uma caneta, uma estilete, um cabeçote de quatro cartuchos para impressões e um bico para corte por LASER.
Dimensão útil de serviço	: 1640 por 2990 mm.
Material da superfície de trabalho	: Não existe informação.
Resolução	: $\pm 0,02$ mm.
Velocidade máxima de movimento	: 500 mm/seg.
Conexão interface equipamento /computador	: RS-232C, IEEE-1284 Paralelo.
Quantidade eixos móveis	: 2 ½ eixos.
Tipo de motor usado na movimentação	: Servomotor.
Tipo de fixação do material	: Vácuo produzido por ar comprimido.
Cabeçote fixo ou intercambiável	: Cabeçote fixo, com módulos de ferramentas intercambiáveis.
Sistema de transmissão de movimento	: Correia assíncrona e polia.
Formatos de leitura do equipamento	: Interface gráfica simples, o software é específico do equipamento e permite ler formatos DXF e DWG.
Formas de ferramentas do mesmo tipo	: Estiletes de tipo tangencial, de roda e para corte de adesivos. Caneta na ferramenta de plotagem. Fresa, na ferramenta de fresado. Um adaptador para 4 cartuchos na ferramenta de impressão. Um adaptador onde está o bico LASER.

Quantidades de portas para as ferramentas no cabeçote:

Três configurações; Uma para estilete tangencial com adaptador para estilete por roda, a segunda para estiletes

de corte de adesivos com adaptador para caneta, e a terceira para a fresa.

Acionamento das ferramentas : Ar comprimido

Diferencias da superfície de trabalho : Neste tipo de configurações precisa variadas superfície de trabalho.



Figura 65 Equipamento multifunção, modelo *Variotron*.

ANEXO 3. Normas técnicas de especificações de equipamentos

- NBR13071:Tolerâncias de estiletas gráficas de corte e/ou vinco.
- Para o projeto de equipamentos de corte a LASER, a IEC publicou normas específicas:
- IEC 60335-2-82 {Ed.2.0} Spanish Versión. Oficial en Español - Aparatos electrodomésticos y análogos. Seguridad. Parte 2-82: Requisitos particulares para máquinas de entretenimiento y máquinas de servicio personal. 2002-11 2007.
- English Household and similar electrical appliances - Safety - Part 2-82: Particular requirements for amusement machines and personal service machines 2002-11 2007.
- IEC 60825-1 {Ed.1.0} Spanish Versión Oficial En español - Seguridad de los productos láser. Parte 1: Clasificación de los equipos, requisitos y guía del usuario. 1993-11 2002.
- IEC 60825-1-am1 {Ed.1.0} Bilingual Amendment 1 - Safety of LASER products - Part 1: Equipment classification, requirements and user's guide.
- English Safety of LASER products - Part 1: Equipment classification, requirements and user's guide 2001-08 2005.
- IEC 60825-4-am2 {Ed.1.0} English Amendment 2 - Safety of LASER products - Part 4: LASER guards 2003-07 2005.
- IEC 60825-4 {Ed.1.2} English Safety of LASER products - Part 4: LASER guards 2003-10 2005.
- IEC/TR 60825-5 {Ed.2.0} English Safety of LASER products - Part 5: Manufacturer's checklist for IEC 60825-1 2003-06 2006.
- Além das normas de ferramentas, o equipamento deve estar de acordo com as seguintes normas técnicas e instruções do Ministério do Trabalho:
- NBR 13759: Segurança de Máquinas - Equipamentos de Parada de Emergência - Aspectos Funcionais - Princípios para Projeto.

- NBR NM 213-1: Segurança de Máquinas - Conceitos Fundamentais, Princípios Gerais de Projeto - Parte 1: Terminologia Básica e Metodologia.
- NBR NM 213-2: Segurança de Máquinas - Conceitos Fundamentais, Princípios Gerais de Projeto – Parte 2: Princípios Técnicos e Especificações.
- NBR NM ISO 13854: Segurança de Máquinas - Folgas Mínimas para Evitar Esmagamento de Partes do Corpo Humano.
- NBR NM ISO 13852: Segurança de Máquinas - Distâncias de Segurança para Impedir o Acesso a Zonas de Perigo pelos Membros Superiores.
- NBR NM 273: Segurança de Máquinas - Dispositivos de Intertravamento Associados a Proteções - Princípios para Projeto e Seleção.
- NBR 14152: Segurança de Máquinas - Dispositivos de Comando Bimanuais - Aspectos Funcionais e Princípios para Projeto.
- NBR 14153: Segurança de Máquinas - Partes de Sistemas de Comando Relacionadas à Segurança - Princípios Gerais para Projeto.
- NR 12: Máquinas e Equipamentos - Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho.
- NR 17: 17: Ergonomia - Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho;
- NR 26: Sinalização de Segurança - Norma Regulamentadora do Ministério do trabalho.

ANEXO 4. Matriz de apoio ao levantamento de necessidades

Ciclo de Vida	Atributos Básicos do Produto			
	Cabeçote Multifuncional	Usabilidade	Custo	Ferramentas de Corte
Projeto			Baixo custo	Prever padrão mercado
Ferramenta			Baixo custo	
Testes - Protótipo	Suporte da força de corte Alinhamento, velocidade, precisão.		Baixo custo	Verificar os melhores fabricantes para desempenho equipamento
Fabricação/Integração	Fácil usinagem e montagem		Baixo custo	
Embalagem	Embalagem reforçada	Quantas Caixas? Resistência das Caixas?	Baixo custo	
Manuais	Verificar alinhamento	Instalação, uso, suporte, perguntas frequentes.		Recomendar a melhor marca
Instalação	Nivelamento do equipamento em relação ao ambiente	Rápida, quantas pessoas, quanto tempo?		Fácil de instalar e ajustar
Operação	- Fácil e rápido de trocar - Checagem de qual ferramenta está acoplada ao cabeçote - velocidade de serviço	- Checagem de funções básicas (portas, reset, pause, chave-geral, botão de emergência). - Verificação de tamanho de material		
Equipe suporte/ Manutenção	-Checar torque de aperto -Fácil acesso	Manual Técnico do sistema inteiro (desmontar, montar, verificar).		Gerar base de dados sobre tempo de manutenção do equipamento em relação à ferramenta
Transporte/Armazenamento	-drop-test, e embalagem que resista fisicamente até o nível de segurança do cabeçote, indicando queda.	Geometria, Seguro, Peso, Risco da carga.		
Comercialização		Gerar informações sobre a facilidade de operação	Verificar custo com concorrentes	

Ciclo de Vida	Atributos Básicos do Produto			
	Tamanho Equipamento	Rigidez Mecânica	Consumo Energia	Ergonomia
Projeto	Projeto de equipamentos modular.	Estudar geometrias e materiais		- Verificar percentil população - Verificar normas
Ferramenta		Verificar viabilidade de usar quais materiais		
Testes - Protótipo		Cruzar dados de simulação de geometrias com materiais distintos		Realizar teste de bancada e troca de cabeçote
Fabricação/Integração	Definir tamanho dos módulos	Verificar dureza em relação a ferramentas e a disponibilidade de fabricação		Verificar se existe algum componente de carga ou tamanho
Embalagem				Identificação da caixa, resistência da caixa e ato de embalar, carregar e abrir.
Manuais	Gerar informações sobre a montagem e	Peças e materiais de manutenção padrões		
Instalação	2 pessoas?	- local com condições	Trifásico, monofásico?	Detalhar etapas de instalação
Operação	Estudar tamanho médio das produções de clientes	- não colocar peças sobre o equipamento - verificar características dos materiais processados	Qual é a potência e o consumo?	Área de segurança, geometrias de peças perigosas. - colocar e tirar as peças das bancadas - porta, ventosas. - porta – ferramentas, ruído, etc.
Equipe suporte/ Manutenção				Verificar TOP de troca de peças
Transporte/Armazenamento	Parametrizar tamanho x custo de transporte	- embalagem garantir a integridade do equip.		Identificação da carga e peças otimizadas
Comercialização	Gerar material que informe as dimensões dos equipamentos	Rigidez não pode ser tão grande a ponto de impossibilitar a venda	Se o produto tem baixo consumo, anunciar isto.	Informar a facilidade de operação e treinamento

Ciclo de Vida	Atributos Básicos do Produto			
	Normas de Materiais Processados	Normas do Equipamento	Confiabilidade	Precisão
Projeto	Levantar todos os tipos e tamanhos diferentes - vidro, papel	- normas dos equipamentos do ambiente de trabalho - norma de comunicação de EMC - fator de potencia	- determinar vida útil dos principais componentes	Definir tolerância conforme materiais
Ferramenta				Tolerância conforme processo de fabricação (fresa ou usinagem)
Testes - Protótipo	Testar em conformidade da norma		-integração dos sistemas e ensaio	Medir precisão final
Fabricação/Integração		Norma ABNT para linha de montagem e fabricação	-controle de processos eficaz	Tolerância conforme processo de fabricação (fresa ou usinagem)
Embalagem		Descrição das normas compatíveis		
Manuais	Detalhar faixas de operação dos tipos de material e suas especificações para a correta operação do equipamento - gerar dicas para manual, etc. .	- Descrição das normas compatíveis do equipamento	- indicar as manutenções preventivas - indicação de equipamentos acessórios	
Instalação		Procedimento de Instalação		Calibração conforme projeto
Operação	Detalhar o procedimentopara cada material		Existe sistema deverificação de dimensionamentoentre meio digital e físico?	Fixação do cabeçotee fixação do material
Equipe suporte/ Manutenção				Calibração conforme projeto
Transporte/Armazenamento				
Comercialização	Indicar quais materiais		Divulgar, caso verdade a confiabilidade.	

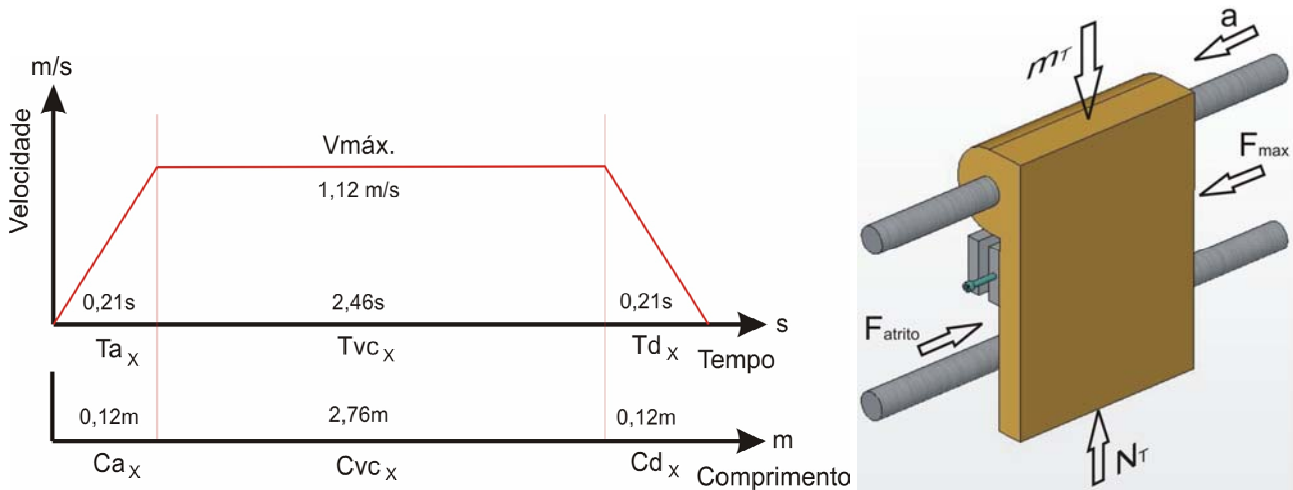
Ciclo de Vida	Atributos Básicos do Produto	
	Impacto Ambiental	Velocidade do Equipamento
Projeto	Minimizar impacto ambiental no equipamento	-Identificar velocidade utilizada por outros equipamentos e materiais
Ferramenta		
Testes - Protótipo		Verificar desempenho
Fabricação/Integração		
Embalagem	Verificar materiais recicláveis	
Manuais		Indicar faixas de velocidade em relação aos materiais
Instalação		
Operação		Utilizar nas faixas de velocidade especificadas
Equipe suporte/ Manutenção		
Transporte/Armazenamento		
Comercialização		

ANEXO 5. Elementos de circuito

Tipo	Sistema mecânico translacional	Sistema mecânico rotacional	Sistema elétrico				
Elemento físico	Mola	Mola de torção	Indutor				
Diagrama							
Equação primária	$v_{21} = \frac{1}{k} \frac{dF}{dt}$	$\omega_{21} = \frac{1}{k} \frac{dT}{dt}$	$e_{21} = L \frac{di}{dt}$				
Elemento físico	Massa	Inércia	Capacitor				
Diagrama							
Equação primária	$F = m \frac{dv_2}{dt}$	$T = J \frac{d\omega_2}{dt}$	$i = C \frac{de_{21}}{dt}$				
Elemento físico	Amortecedor	Amortecedor angular	Resistor				
Diagrama							
Equação primária	$F = b v_{21}$	$T = b \omega_{21}$	$i = \frac{1}{R} e_{21}$				
FONTES							
Elemento físico	Fonte de vel. linear	Fonte de vel. angular	Fonte de tensão				
Diagrama							
Elemento físico	Fonte de força	Fonte de torque	Fonte de corrente				
Diagrama							
TRANSFORMADOR DE SISTEMA ELÉTRICO A MECÂNICO							
Elemento físico	Elétrico		Mecânico				
Diagrama							
b	Coeficiente atrito viscoso	θ	Posição angular	i	Corrente	F	Força
p	Momento translacional	λ	Fluxo de conexão	e	Tensão	J	Inércia
h	Momento angular	u	Velocidade linear	R	Resistência	m	Massa
K	Constante de mola	x	Posição linear	L	Indutância	q	Carga
ω	Velocidade angular	C	Capacitância	T	Torque		

ANEXO 6. Perfil de velocidade de movimento da DP-01/02 no LHW

A.6.1. Eixo X: Cálculo adotado pelos fabricantes de servomotores.



$$C_T = C_{ax} + C_{vcx} + C_{dx} = 3 \text{ m}$$

$$a = \frac{v_{\max}^2}{2 * C_{ax}} = \frac{1,12^2}{2 * 0,12} = 5,23 \text{ m/s}^2$$

$$t_{Tx} = t_{ax} + t_{vcx} + t_{dx}$$

$$t_{ax} = t_{dx} = \frac{v_{\max}}{a} = \frac{1,12}{5,23} = 0,21 \text{ s}$$

$$t_{vcx} = \frac{C_{vcx}}{v_{\max}} = \frac{2,76}{1,12} = 2,46 \text{ s}$$

$$t_{Tx} = 2 * t_{ax} + t_{vcx} = 2 * 0,21 + 2,46 = 2,88 \text{ s}$$

$$m_{Tx} = m_{cax} + m_{cx} = 4,30 + 10 = 14,30 \text{ kg}$$

$$N_{Tx} = g * (m_{Tx}) = 9,81 * 14,30 = 140,24 \text{ N}$$

$$F_{\text{massa}} = m_{Tx} * a = 14,30 * 5,23 = 74,74 \text{ N}$$

$$F_{\text{atrito}} = n * \mu * N_{Tx} = 3 * 0,004 * 140,24 = 1,68 \text{ N}$$

$$F_{\max} = F_{\text{massa}} + F_{\text{atrito}} = 74,74 + 1,68 = 76,24 \text{ N}$$

$$F_{\min} = F_{\text{massa}} - F_{\text{atrito}} = 74,74 - 1,68 = 73,06 \text{ N}$$

$$F_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{(F_{\max}^2 * t_{ax} + F_{\text{atrito}}^2 * t_{vcx} + F_{\min}^2 * t_{dx})}{t_{ax} + t_{vcx} + t_{dx}}} = \sqrt{\frac{76,24^2 * 0,21 + 1,68^2 * 2,46 + 73,06^2 * 0,21}{0,21 + 2,46 + 0,21}}$$

$$F_{\text{RMS}} = 28,82 \text{ N}$$

$$T_{\max} = F_{\max} * r_{px} = 76,24 * 0,0331 = 2,53 \text{ Nm}$$

$$T_{\text{RMS}} = F_{\text{RMS}} * r_{px} = 28,82 * 0,0331 = 0,95 \text{ Nm}$$

$$\omega_{sm} = \left(\frac{v_{max}}{2 * \pi r_{px}} \right) * 60 = \left(\frac{1,12}{2 * \pi 0,0331} \right) * 60 = 323,12 \quad \text{rpm}$$

Cálculo adotado no dimensionamento dos servomotores, com um rendimento (η) do conjunto de 80% (catálogos e informação técnica dos fornecedores de servomotores). No item 4.3.3 e anexo 6 calcula-se o torque de perturbação (T_{px}) produzido pelo tensionamento da correia no servoposicionamento do eixo X (0,993 Nm), aportando um 50 % a mais de torque se a correia não estiver esticada.

$$T_{max\eta} = \frac{T_{max}}{\eta} = \frac{2,53}{0,8} = 3,16 \quad \text{Nm} \quad T_{RMS\eta} = \frac{T_{RMS}}{\eta} = \frac{0,95}{0,80} = 1,19 \quad \text{Nm}$$

$$\omega_{sm\eta} = \frac{\omega_{sm}}{\eta} = \frac{325}{0,80} = 437,5 \approx 406 \quad \text{rpm}$$

Quando um servomotor pelo torque e sua velocidade requisitados for selecionado, é aconselhado calcular o pico da potência exigido pela carga e compará-lo com o pico de potência disponível no servomotor. Isso confirmará que o dimensionamento é realista e pode ajudar a evitar uma solução ineficiente em que o servomotor produza somente uma fração de sua potência de saída, normalmente girando em baixas velocidades.

$$\text{Potência do eixo: } P = T * \omega * \frac{\pi}{30} \quad [\text{W}]$$

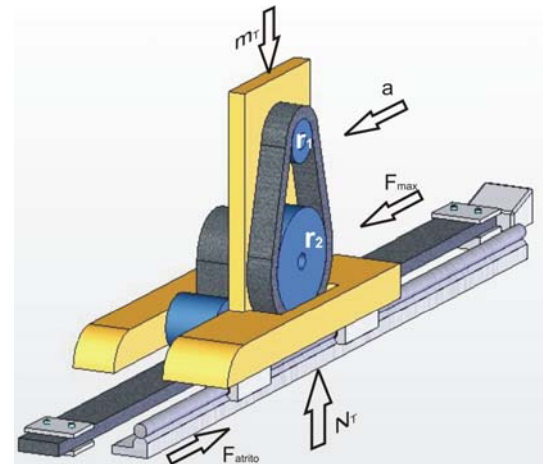
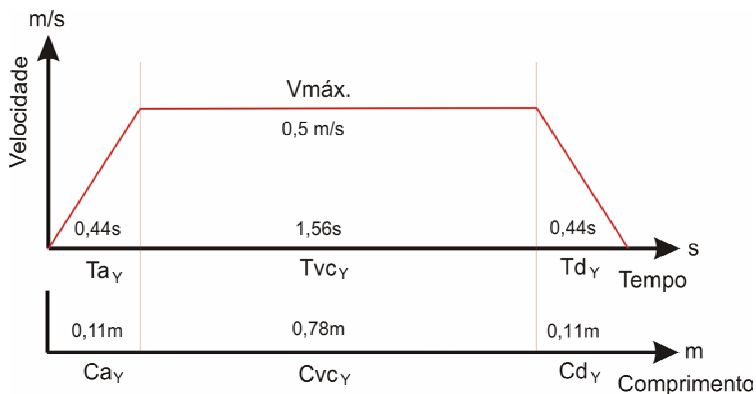
$$P_{RMS} = T_{RMS\eta} * \omega_{SM\eta} * \frac{\pi}{30} = 1,19 * 406 * \frac{\pi}{30} = 50,6 \quad \text{W}$$

$$P_{max} = T_{max\eta} * \omega_{SM\eta} * \frac{\pi}{30} = 3,16 * 406 * \frac{\pi}{30} = 134,4 \quad \text{W}$$

Símb.	Definição	Unid
a	Aceleração.	m/s ²
C _{ax}	Comprimento de aceleração do eixo X.	m
C _{dx}	Comprimento de desaceleração no eixo X.	m
C _{Tx}	Comprimento total ocupado no perfil de movimento no eixo X.	m
C _{vcx}	Comprimento de velocidade constante no eixo X.	m

Símb.	Definição	Unid
F_{atrito}	Força produzida pelo atrito dos casquilhos.	N
F_{massa}	Força necessária para acelerar a carga.	N
F_{max}	Força máxima para atingir o perfil de movimento.	N
F_{min}	Força mínima para atingir o perfil de movimento.	N
F_{RMS}	Força media da raiz quadrada.	N
g	Constante da gravidade.	m/s^2
i_{red}	Relação do redutor	
m_c	Massa do cabeçote.	kg
m_{ca}	Massa do carro porta-cabeçote.	kg
m_{Tx}	Massa total no eixo X	kg
n	Quantidades de casquilhos da guia de deslizamento.	
N_{tx}	Força normal ao peso aplicado no eixo X.	N
P_{max}	Potencia mecânica máxima que precisa o servomotor	W
P_{RMS}	Potencia mecânica media da raiz quadrada	W
r_{px}	Radio da polia do eixo X.	m
T	Torque do servomotor.	Nm
t_{ax}	Tempo de aceleração	s
t_{dx}	Tempo de desaceleração	s
T_{max}	Torque máximo do servomotor necessário para movimentar a carga.	Nm
$T_{\text{max } \eta}$	Torque máximo do servomotor após o fator de rendimento	Nm
T_{px}	Torque de perturbação do eixo X.	Nm
T_{RMS}	Torque médio da raiz quadrada necessária para movimentar a carga	Nm
$T_{\text{RMS } \eta}$	Torque médio da raiz quadrada após o fator de rendimento	Nm
t_{Tx}	Tempo total ocupado no perfil de movimento no eixo X.	s
t_{vcx}	Tempo de velocidade constante	s
v_{max}	Velocidade máxima de ser atingida pela curva da velocidade.	m/s
η	Rendimento do mecanismo.	
μ	Coeficiente de atrito de rolamento.	
ω	Velocidade angular do servomotor.	rpm
ω_{sm}	Velocidade angular no servomotor para atingir o perfil de velocidade.	rpm
$\omega_{\text{sm } \eta}$	Velocidade angular do servomotor após o fator de rendimento	rpm

A.6.2. Eixo Y: Cálculo utilizado pelos fabricantes de servomotores.



$$C_{Ty} = C_{ay} + C_{vcy} + C_{dy} = 1 \text{ m}$$

$$t_{Ty} = t_{ay} + t_{vcy} + t_{dy}$$

$$a = \frac{v_{\max}^2}{2 * C_{ay}} = \frac{0,5^2}{2 * 0,11} = 1,14 \text{ m/s}^2$$

$$t_{ay} = t_{dy} = \frac{v_{\max}}{a} = \frac{0,5}{1,14} = 0,44 \text{ s}$$

$$t_{vcy} = \frac{C_{vcy}}{v_{\max}} = \frac{0,78}{0,5} = 1,56 \text{ s}$$

$$t_{Ty} = 2 * t_{ay} + t_{vcy} = 2 * 0,44 + 1,56 = 2,44 \text{ s}$$

$$m_{Ty} = m_{\text{eixoX}} + m_{ca} = 82,75 + 35,46 = 118,21 \text{ kg}$$

$$N_T = g * (m_{Ty}) = 9,81 * 118,21 = 1159,64 \text{ N}$$

$$F_{\text{massa}} = m_{Ty} * a = 118,21 * 1,14 = 134,76 \text{ N}$$

$$F_{\text{atrito}} = n * \mu * N_T = 3 * 0,004 * 1159,64 = 13,92 \text{ N}$$

$$F_{\max} = F_{\text{massa}} + F_{\text{atrito}} = 134,76 + 13,92 = 148,68 \text{ N}$$

$$F_{\min} = F_{\text{massa}} - F_{\text{atrito}} = 134,76 - 13,92 = 120,84 \text{ N}$$

$$F_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{(F_{\max}^2 * t_{ay} + F_{\text{atrito}}^2 * t_{vcy} + F_{\min}^2 * t_{dy})}{t_{ay} + t_{vcy} + t_{dy}}} = \sqrt{\frac{148,68^2 * 0,44 + 13,92^2 * 1,56 + 120,84^2 * 0,44}{0,44 + 1,56 + 0,44}}$$

$$F_{\text{RMS}} = 82,8 \text{ N}$$

$$T_{\max} = F_{\max} * r_{py} = 148,68 * 0,0458 = 6,81 \text{ Nm}$$

$$T_{\text{RMS}} = F_{\text{RMS}} * r_{py} = 82,8 * 0,0458 = 3,79 \text{ Nm}$$

$$\omega_{sm} = \left(\frac{v_{\max}}{2 * \pi} \right) * 60 = \left(\frac{0,5}{2 * \pi} \right) * 60 = 104,25 \text{ rpm}$$

Cálculo adotado no dimensionamento dos servomotores, com um rendimento (η) do conjunto de 80% (catálogos e informação técnica dos fornecedores de servomotores). No item 4.3.3 e anexo 6 calcula-se o torque de perturbação (T_{px}) produzido pelo tensionamento da correia no servoposicionamento do eixo X (1,1 Nm), aportando um 50 % a mais de torque se a correia não estiver esticada.

$$T_{\max\eta} = \frac{T_{\max}}{\eta} = \frac{6,81}{0,8} = 8,51 \text{ Nm} \quad T_{\text{RMS}\eta} = \frac{T_{\text{RMS}}}{\eta} = \frac{3,79}{0,80} = 4,74 \text{ Nm}$$

$$\omega_{\text{sm}\eta} = \frac{\omega_{\text{sm}}}{\eta} = \frac{105}{0,80} = 131 \text{ rpm}$$

Aplicando redutor no eixo do servomotor.

$$\text{Redutor } i_{\text{red}} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{120}{40} = 3$$

Servomotor

$$T_{\max\text{red}} = \frac{T_{\max\eta}}{i_{\text{red}}} = \frac{8,51}{3} = 2,83 \text{ Nm}$$

$$T_{\text{RMSred}} = \frac{T_{\text{RMS}\eta}}{i_{\text{red}}} = \frac{3,79}{3} = 1,26 \text{ Nm}$$

$$\omega_{\text{red}} = \omega_{\text{sm}\eta} * i_{\text{red}} = 105 * 3 = 315 \text{ rpm}$$

Quando um servomotor pelo torque e sua velocidade requisitados for selecionado, é aconselhado calcular o pico da potência exigido pela carga e compará-lo com o pico de potência disponível no servomotor. Isso confirmará que o dimensionamento é realista e pode ajudar a evitar uma solução ineficiente em que o servomotor produza somente uma fração de sua potência de saída, normalmente girando em baixas velocidades.

$$\text{Potência do eixo: } P = T * \omega * \frac{\pi}{30} \text{ [W]}$$

$$P_{\text{RMS}} = T_{\text{RMS}\eta} * \omega_{\text{red}} * \frac{\pi}{30} = 1,26 * 315 * \frac{\pi}{30} = 41,6 \text{ W}$$

$$P_{\text{max}} = T_{\max\eta} * \omega_{\text{red}} * \frac{\pi}{30} = 2,83 * 315 * \frac{\pi}{30} = 93 \text{ W}$$

Símb.	Definição	Unid
a	Aceleração.	m/s ²
C _{ay}	Comprimento de aceleração do eixo Y.	m
C _{dy}	Comprimento de desaceleração do eixo Y.	m
C _{Ty}	Comprimento total ocupado no perfil de movimento do eixo Y.	m
C _{vcy}	Comprimento de velocidade constante do eixo Y.	m
F _{atrito}	Força produzida pelo atrito dos casquilhos.	N
F _{massa}	Força necessária para acelerar a carga.	N
F _{max}	Força máxima para atingir o perfil de movimento.	N
F _{min}	Força mínima para atingir o perfil de movimento.	N
F _{RMS}	Força media da raiz quadrada.	N
g	Constante da gravidade.	m/s ²
i _{red}	Relação do redutor.	
m _{ca}	Massa do carro porta-cabeçote.	kg
m _{eixoX}	Massa do eixo X.	kg
m _{Ty}	Massa total no eixo Y.	kg
n	Quantidades de casquilhos da guia de deslizamento.	
N _{ty}	Força normal ao peso aplicado no eixo Y.	N
P _{max}	Potencia mecânica máxima que precisa o servomotor.	W
P _{rms}	Potencia mecânica media da raiz quadrada.	W
r ₁	Radio menos das polias no redutor.	m
r ₂	Radio maior das polias no redutor.	m
r _{py}	Radio da polia no eixo Y.	m
t _{ay}	Tempo de aceleração no eixo Y.	s
t _{dy}	Tempo de desaceleração no eixo Y.	s
T _{max}	Torque máximo do servomotor necessário para movimentar a carga.	Nm
T _{max_{red}}	Torque que precisa o servomotor depois de aplicado fator de rendimento e relação de redutor.	Nm
T _{max η}	Torque máximo do servomotor após o fator de rendimento.	Nm
T _{py}	Torque de perturbação do eixo Y.	Nm
T _{RMS}	Torque médio da raiz quadrada necessária para movimentar a carga	Nm
T _{RMS_{red}}	Torque médio da raiz quadrada depois de aplicado fator de rendimento e relação de redutor.	Nm
T _{RMS η}	Torque médio da raiz quadrada após o fator de rendimento.	Nm

Símb.	Definição	Unid
t_{Ty}	Tempo total ocupado no perfil de movimento do eixo Y.	s
t_{vcy}	Tempo de velocidade constante do eixo Y.	s
v_{max}	Velocidade máxima de ser atingida pela curva da velocidade.	m/s
η	Rendimento do mecanismo.	
μ	Coeficiente de atrito de rolamento.	
ω	Velocidade angular do servomotor.	rpm
ω_{red}	Velocidade angular que precisa o servomotor depois de aplicado fator de rendimento e relação de redutor.	rpm
ω_{sm}	Velocidade angular no servomotor para atingir o perfil de velocidade.	rpm
$\omega_{sm \eta}$	Velocidade angular do servomotor após o fator de rendimento.	rpm

ANEXO 7. Medição experimental dos coeficientes usados na simulação dinâmica

A.7.1. Ensaios realizados na obtenção dos parâmetros dos eixos:

Existem dados de grande importância que são requisitados pelos blocos-diagrama da simulação dinâmica, estes não podem ser obtidos por meio dos fornecedores dos componentes, já que são somente entregues dados básicos e gerais do comportamento, é por isso que no DP-01/02 se fizeram medidas dos parâmetros.

Nas medições foram usados dois instrumentos de medição de torque. Um sistema de medição de torque-velocidade, marca TELDIX, composto de um torquímetro angular modelo DG 1-4 e um adquiridor de sinal modelo M621.60, apresentada na figura 66, adjunta à figura as características técnicas do aparelho. O segundo instrumento é um sistema de medição de torque-deslocamento angular marca TORKFORT, modelo TRC07PA apresentada na figura 67, adjunta à figura as características técnicas do aparelho.

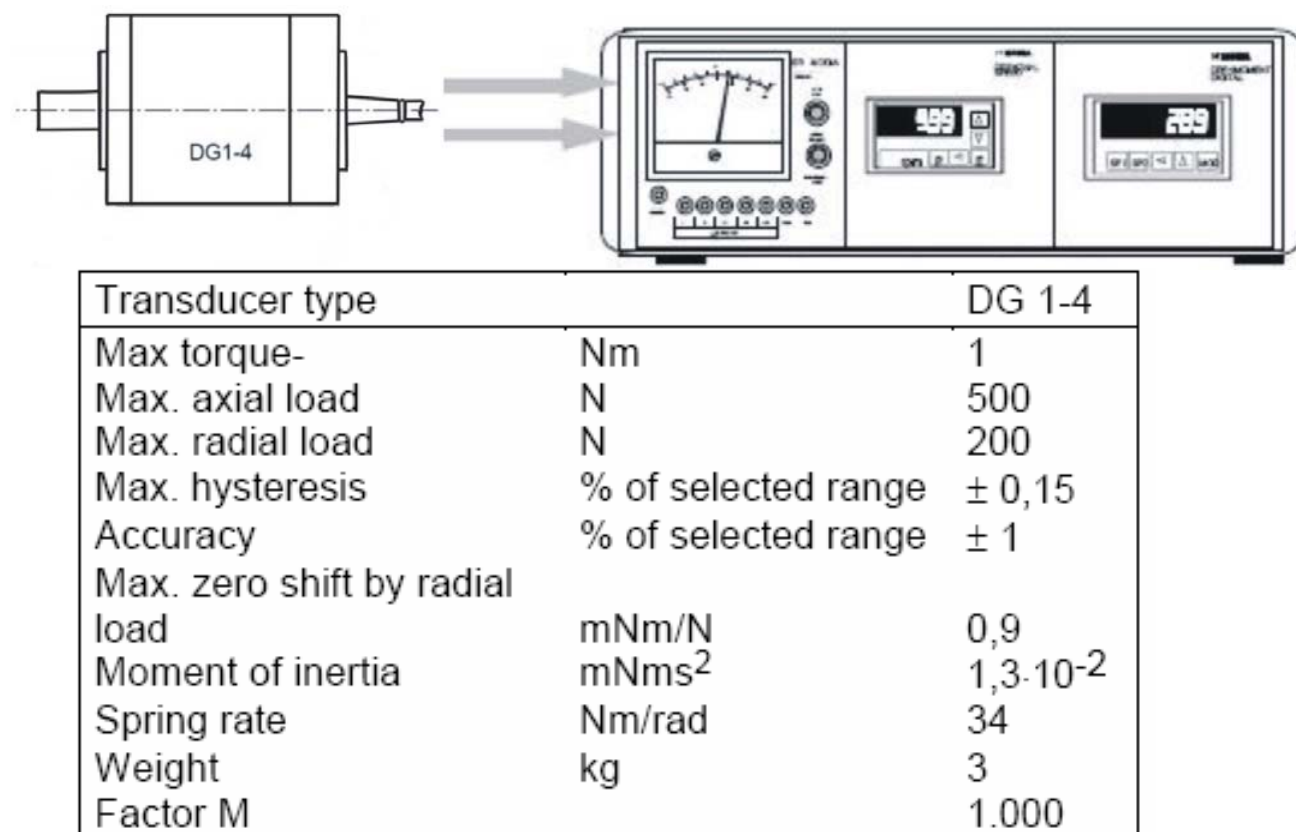


Figura 66 Sistema de medição torque-velocidade.



Figura 67 Sistema de medição torque-deslocamento angular.

- Os parâmetros que se precisam ser medidos no equipamento foram:
Coeficiente de atrito viscoso nas polias.
- Coeficiente de atrito viscoso nos casquilhos de esferas recirculantes acopladas entre o carro porta cabeçote e as guias de deslizamento.
- Constante de elasticidade das correias.

A.7.2. Coeficiente de atrito viscoso na polia tracionadora do eixo X

Na figura 68, apresenta-se a montagem realizada no ensaio para a medição do coeficiente de atrito viscoso na polia tracionadora.

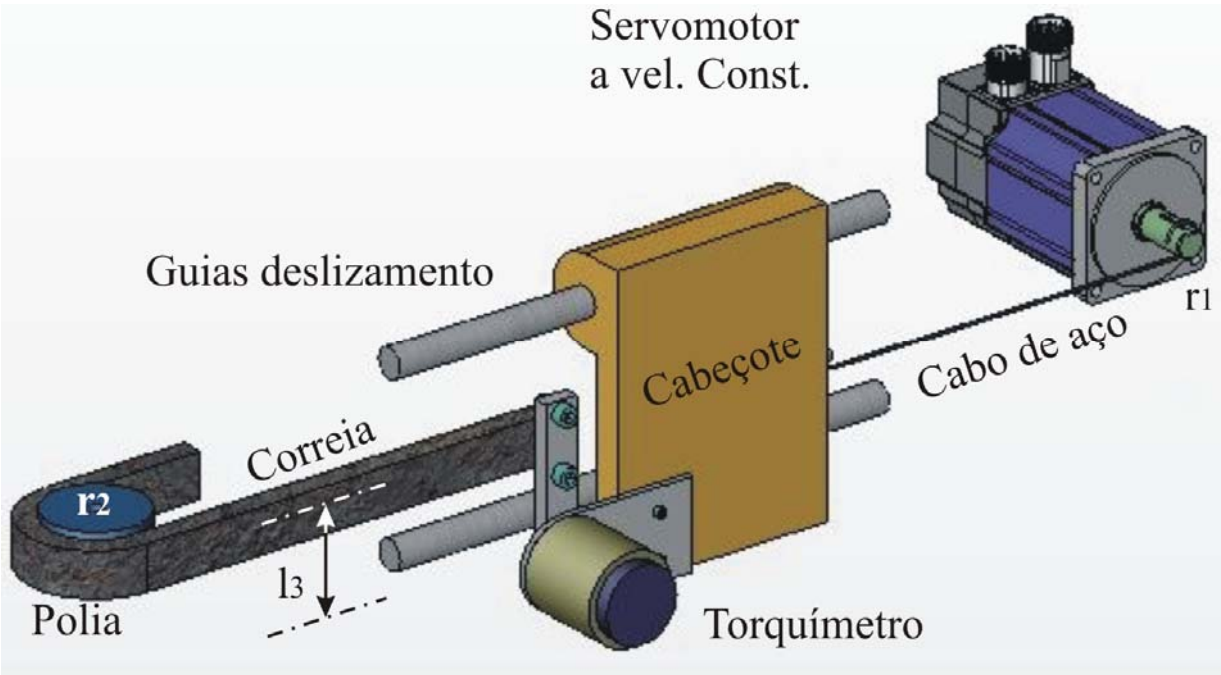


Figura 68 Esquema do ensaio realizado na medição do atrito viscoso.

Nas medições realizadas a velocidades constantes e lendo o indicador de torque do torquímetro obtivesse os dados da tabela 46.

Tabela 46 Dados obtidos do ensaio na polia tracionadora.

Vel. Angular rpm	Vel. Angular rad/s	Vel. angular em relação a raios rad/s	Torque Nm	Torque em relação a raios Nm
40,58	4,25	1,23	0,290	0,19
84,09	8,81	2,53	0,346	0,22
135,88	14,23	4,09	0,375	0,24
189,98	19,89	5,73	0,405	0,26
238,54	24,98	7,15	0,410	0,27
289,72	30,34	8,71	0,440	0,29
341,52	35,76	10,28	0,460	0,30
		r_1/r_2		r_2/l_3

Onde:

$$1 \text{ rpm } 0,10472 \text{ rad/s}$$

$$r_1 \quad 0,0095 \quad \text{m}$$

$$r_2 \quad 0,0331 \quad \text{m}$$

$$l_3 \quad 0,05 \quad \text{m}$$

Na figura 69 apresenta-se o gráfico das variáveis Velocidades Angular em relação a raios r_1/r_2 versus torque em relação a raios r_2/l_3 , na inclinação da reta (b) do gráfico obtém-se o coeficiente de atrito viscoso na polia tracionadora.

$$b_{xpm} = 0,01194 \text{ Nm/(rad/s)}$$

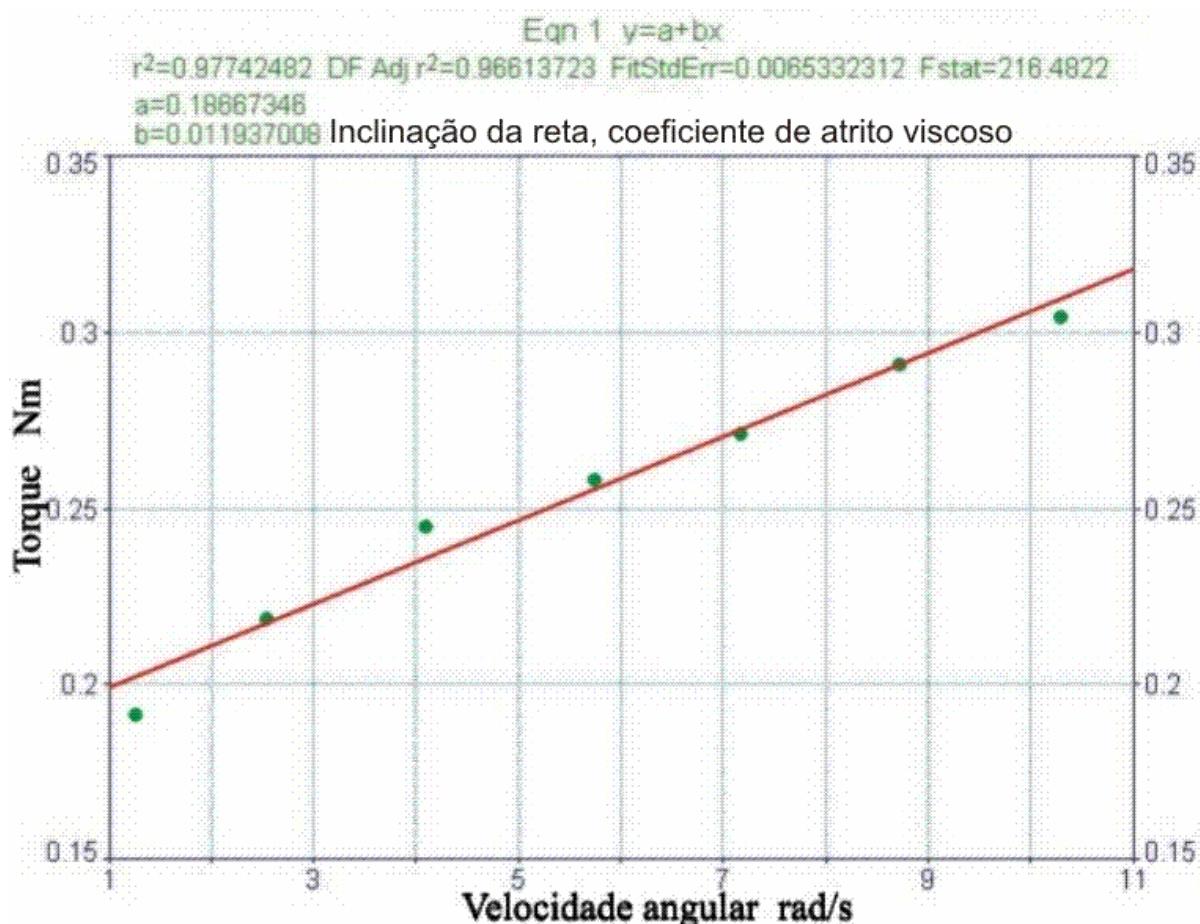


Figura 69 Curva de atrito viscoso na polia tracionadora.

A.7.3. Coeficiente de atrito viscoso na polia de desvio do eixo X

Na figura 70, apresenta-se a montagem realizada no ensaio para a medição do coeficiente de atrito viscoso na polia de desvio.

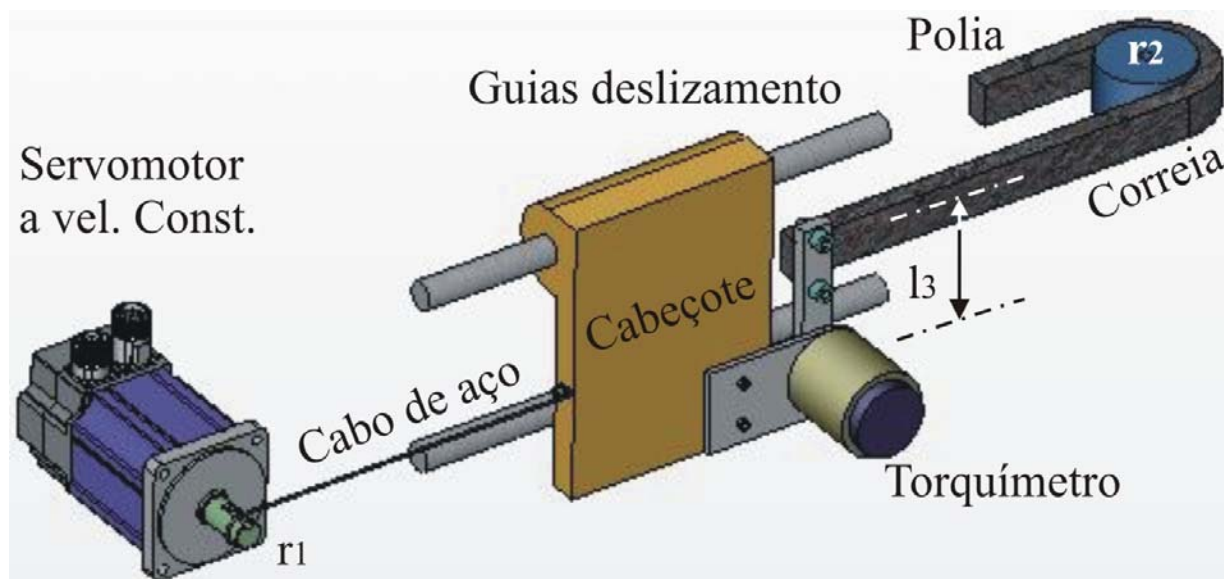


Figura 70 Esquema do ensaio realizado na medição do atrito viscoso.

Nas medições realizadas a velocidades constantes e lendo o indicador de torque do torquímetro obtivesse os dados da tabela 47.

Tabela 47 Dados obtidos do ensaio na polia de desvio.

Vel. Angular rpm	Vel. Angular rad/s	Vel. angular em relação a raios rad/s	Torque Nm	Torque em relação a raios Nm
40,2	4,21	1,22	0,410	0,271
84,09	8,81	2,53	0,500	0,331
135,5	14,19	4,08	0,570	0,377
232,5	24,35	7,01	0,620	0,410
239,3	25,06	7,17	0,680	0,450
289,72	30,34	8,71	0,720	0,477
341,02	35,71	10,26	0,730	0,483
453,5	47,49	13,65	0,760	0,503
		r_1/r_2		r_2/l_3

Onde:

$$1 \text{ rpm } 0,10472 \text{ rad/s}$$

$$r_1 \quad 0,0095 \quad \text{m}$$

$$r_2 \quad 0,0331 \quad \text{m}$$

$$l_3 \quad 0,05 \quad \text{m}$$

Na figura 71 apresenta-se o gráfico da variável velocidade angular em relação a raios r_1/r_2 versus torque em relação a raios r_2/l_3 , na inclinação da reta (b) do gráfico obtém-se o coeficiente de atrito viscoso na polia de desvio.

$$b_{pd} = 0,021446 \text{ Nm}/(\text{rad/s})$$

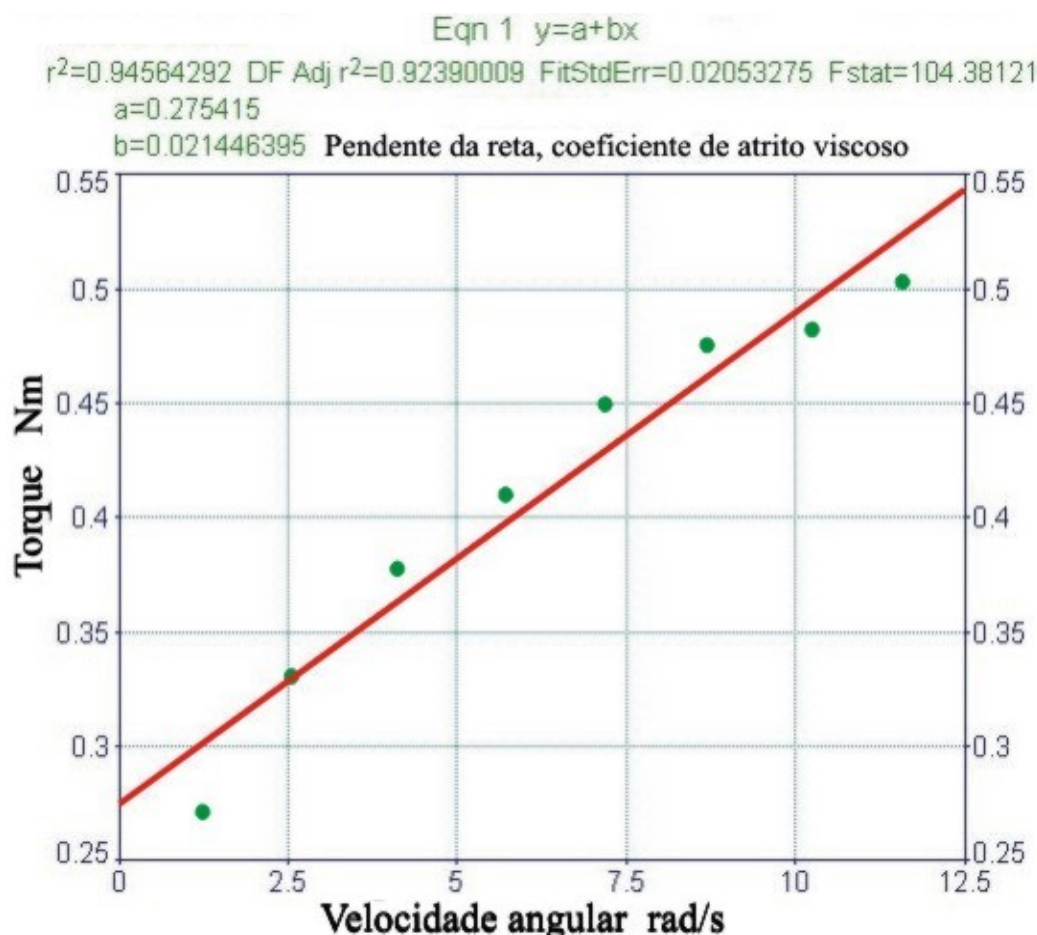


Figura 71 Curva de atrito viscoso na polia de desvio.

A.7.4. Coeficiente de atrito viscoso nos casquilhos de esferas recirculantes das guias do eixo X

Na figura 72, apresenta-se a montagem realizada no ensaio para a medição do coeficiente de atrito viscoso nos casquilhos.

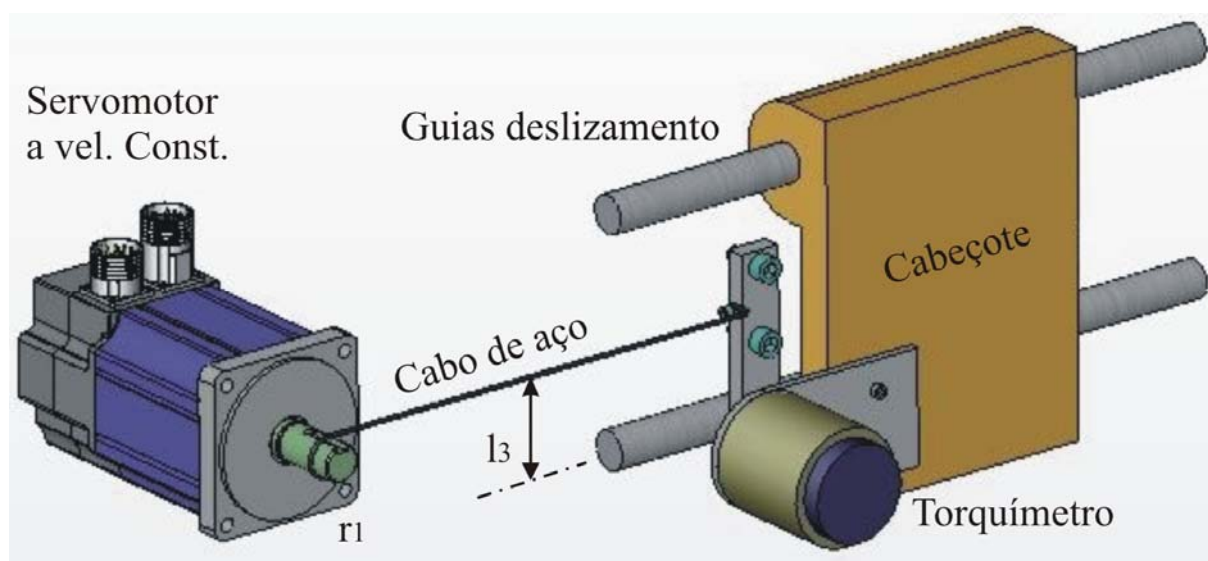


Figura 72 Esquema do ensaio realizado na medição do atrito viscoso.

Nas medições realizadas a velocidades constantes e lendo o indicador de torque do torquímetro obtivesse os dados da tabela 48.

Tabela 48 Dados obtidos do ensaio nos casquilhos de esferas recirculantes do eixo X

Vel. Angular rpm	Vel. Angular rad/s	Vel. linear ao rádio m/s	Força N
44	4,608	0,044	5,90
100	10,472	0,099	6,95
150	15,708	0,149	7,50
200	20,944	0,199	8,00
250	26,180	0,249	8,50
300	31,416	0,298	9,00
350	36,652	0,348	9,40
400	41,888	0,398	10,0
		r_1	

Onde:

$$1 \text{ rpm } 0,10472 \text{ rad/s}$$

$$r_1 \quad 0,0095 \text{ m}$$

Na figura 73 apresenta-se o gráfico da variável velocidade linear em relação a raios r_1 versus força, na inclinação da reta (b) do gráfico obtém-se o coeficiente de atrito viscoso nos casquilhos.

$$b_3 = 10,9058 \text{ N/(m/s)}$$

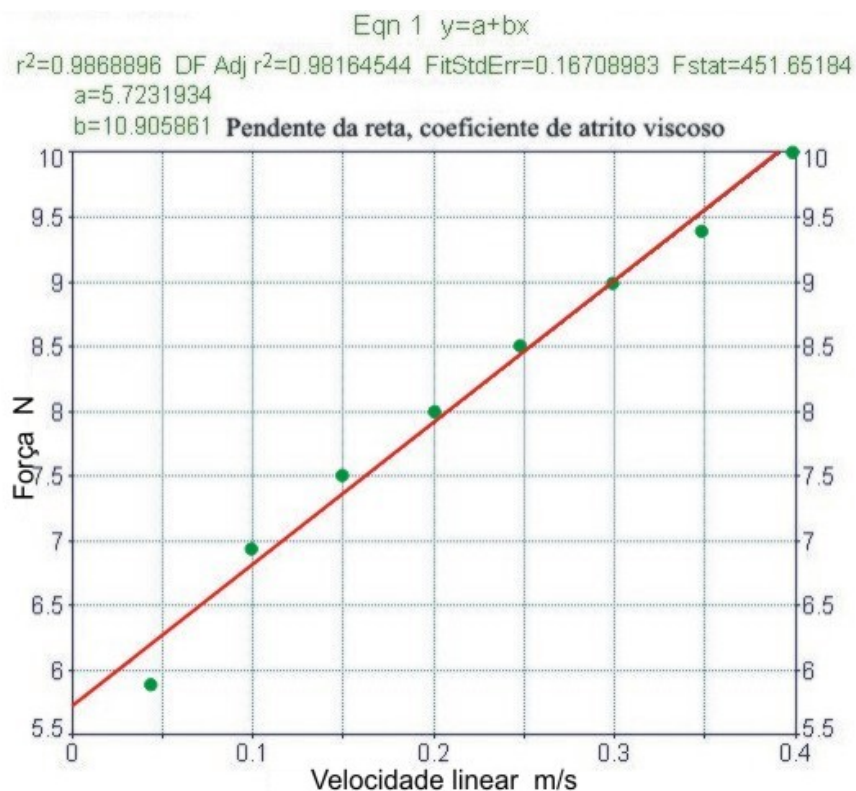


Figura 73 Curva de atrito viscoso nos casquilhos de esferas recirculantes.

A.7.5. Constante de elasticidade da correia do eixo X

Na figura 74, apresenta-se a montagem realizada no ensaio para a medição da constante de elasticidade da correia no eixo X. A espessura da correia é de 30 mm.

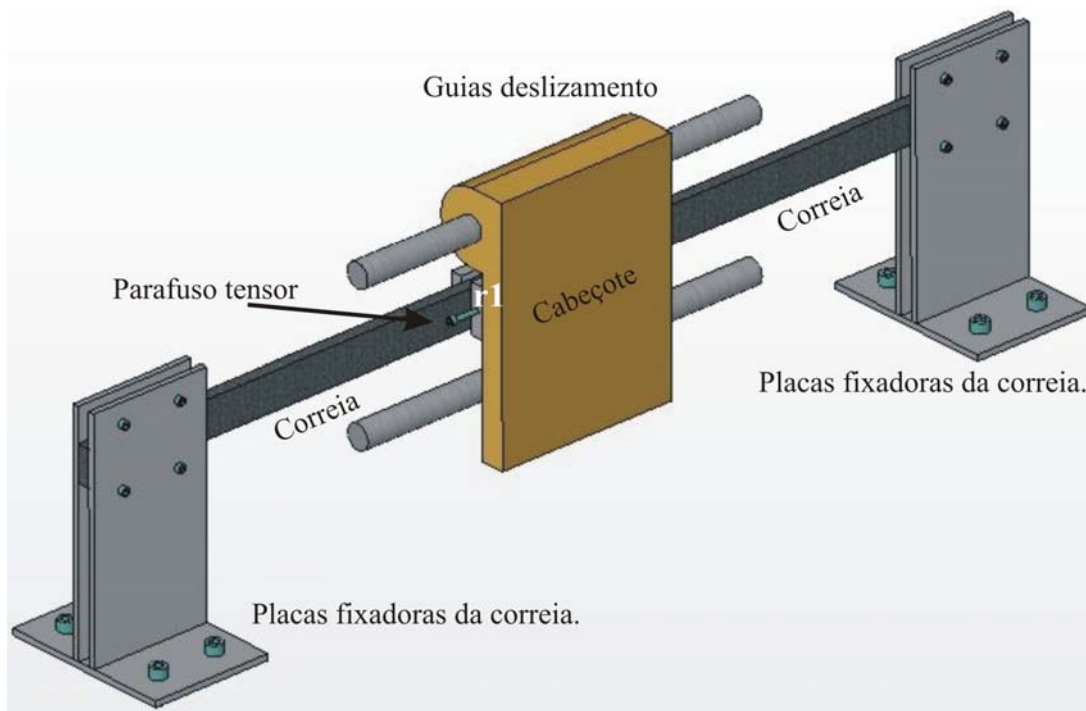


Figura 74 Esquema do ensaio realizado na medição da constante de elasticidade.

Neste ensaio foi usado o sistema de medição de torque-deslocamento angular, é aplicado um torque no parafuso que traciona a correia, sendo medido este torque em relação a giros do parafuso. Começa a se medir o torque no parafuso com a correia esticada, na tabela 49 apresenta-se os valores obtidos no instrumento em função dos giros do parafuso, passados a deslocamento linear.

Tabela 49 Dados obtidos do ensaio no parafuso da unidade tracionadora da correia.

Deslocamento angular do parafuso rad	Deslocamento linear do parafuso m	Torque Nm	Força N
0,7854	0,000125	1,471	490,33
3,9270	0,000625	1,961	653,78
12,5664	0,002000	2,059	686,47
13,7445	0,002188	2,157	719,15
17,2788	0,002750	2,942	980,67
19,6350	0,003125	3,530	1176,80
21,9912	0,003500	3,923	1307,55
24,3474	0,003875	4,119	1372,93
			r_1

Onde:

$$r_1 = 0,003 \text{ m}$$

$$\text{Passo}$$

$$\text{parafuso} = 1 \text{ mm}$$

Na figura 75 apresenta-se o gráfico da variável força versus deslocamento linear adquiridas na leitura do instrumento.

$$K_x = 232485,87 \text{ N/m}$$

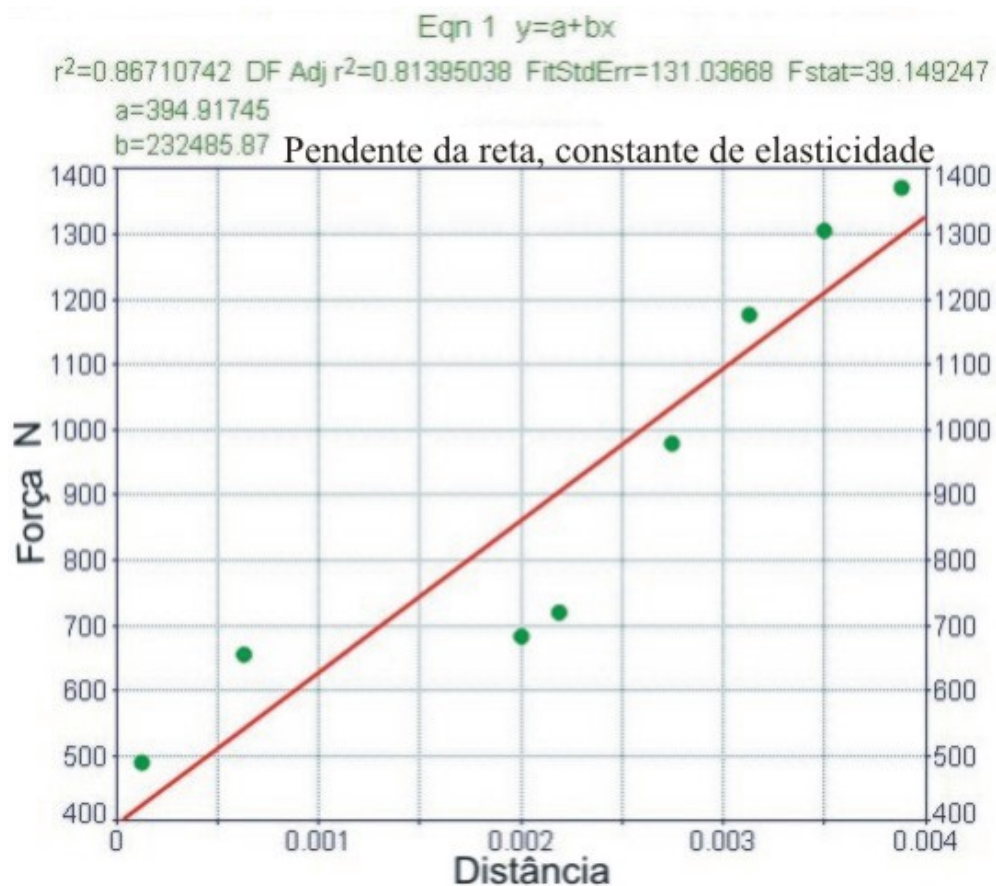


Figura 75 Curva da constante de elasticidade.

A.7.6. Coeficiente de atrito viscoso nas polias do eixo Y

Na figura 76, apresenta-se a montagem realizada no ensaio para a medição do coeficiente de atrito viscoso nas polias do eixo Y. Foram medidas as três polias juntas.

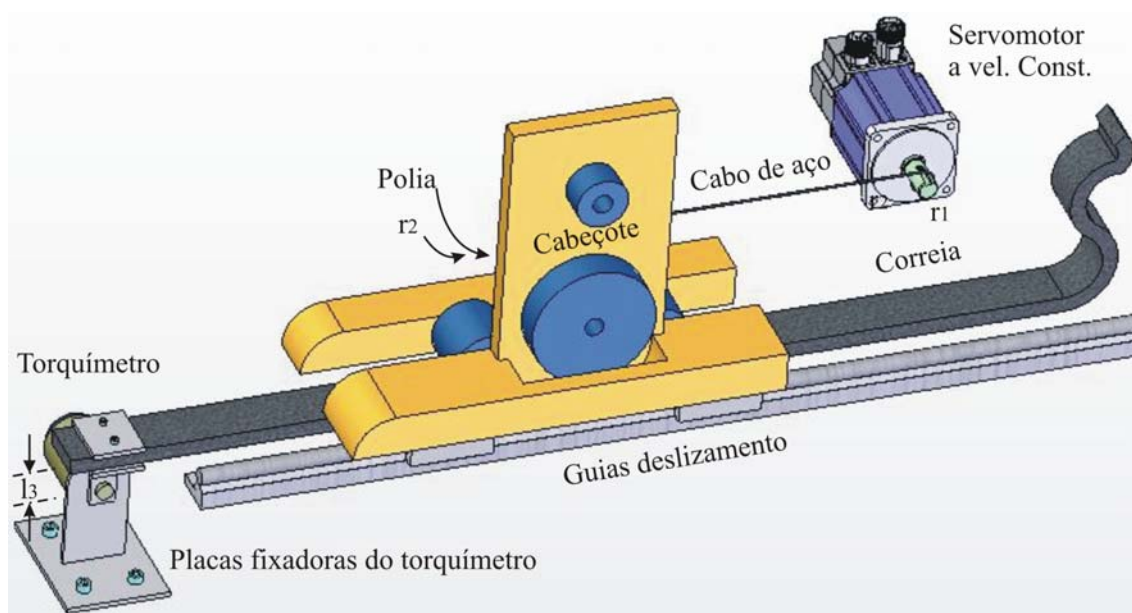


Figura 76 Esquema do ensaio realizado na medição do atrito viscoso.

Nas medições realizadas a velocidades constantes e lendo o indicador de torque do torquímetro obtivesse os dados da tabela 50.

Tabela 50 Dados obtidos do ensaio das polia da porta-cabeçote no eixo Y.

Vel. Angular rpm	Vel. Angular rad/s	Vel. angular em relação a raios rad/s	Torque Nm	Torque em relação a raios Nm
40,2	4,21	1,22	0,33	0,2171
84,09	8,81	2,53	0,38	0,2483
135,5	14,19	4,08	0,46	0,3019
232,5	24,35	7,01	1,00	0,6620
239,3	25,06	7,17	1,31	0,8640
289,72	30,34	8,71	1,54	1,0225
341,02	35,71	10,26	1,48	0,9780
453,5	47,49	13,65	1,61	1,0650
		r_1/r_2		r_2/l_3

Onde:

$$1 \text{ rpm } 0,10472 \text{ rad/s}$$

$$r_1 \quad 0,0095 \quad \text{m}$$

$$r_2 \quad 0,0458 \quad \text{m}$$

$$l_3 \quad 0,05 \quad \text{m}$$

Na figura 77 apresenta-se o gráfico das variáveis velocidade angular em relação a raios r_1/r_2 versus torque em relação a raios r_2/l_3 , na inclinação da reta (b) do gráfico obtém-se o coeficiente de atrito viscoso nas três polia do porta-cabeçote do eixo Y.

$$b_y = 0,08237 \text{ Nm/(rad/s)}$$

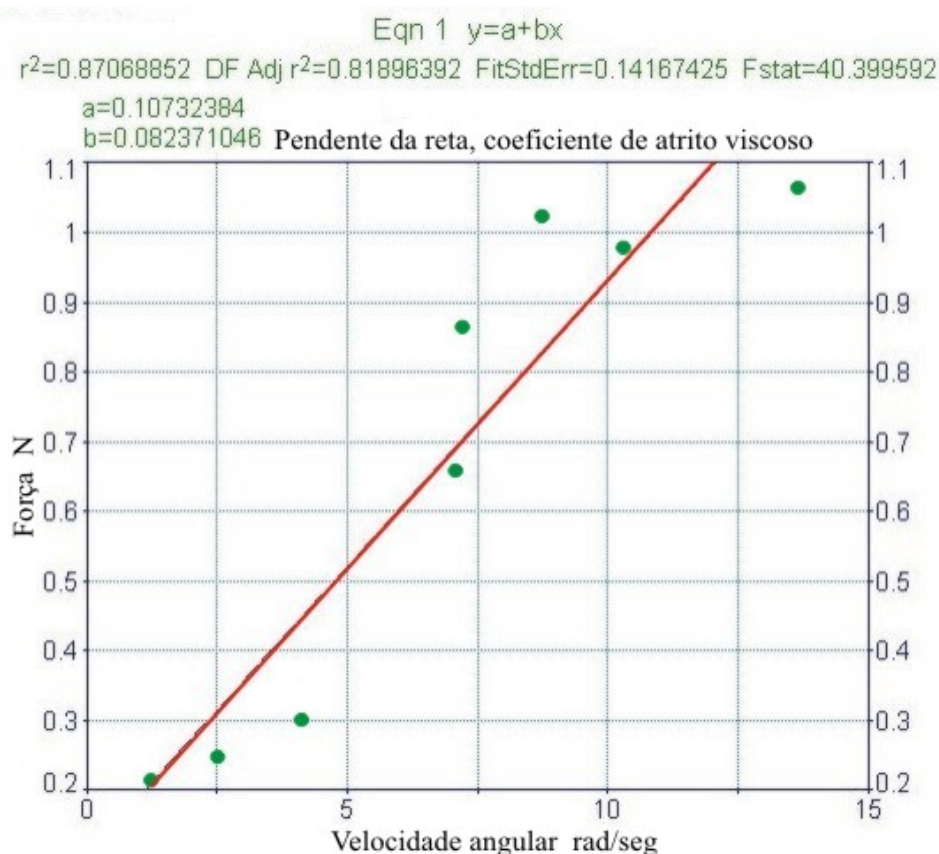


Figura 77 Curva de atrito viscoso nas polias do eixo Y.

A.7.7. Coeficiente de atrito viscoso nos casquilhos de esferas recirculantes das guias do eixo Y

Na figura 78, apresenta-se a montagem realizada no ensaio para a medição do coeficiente de atrito viscoso nos casquilhos do eixo Y.

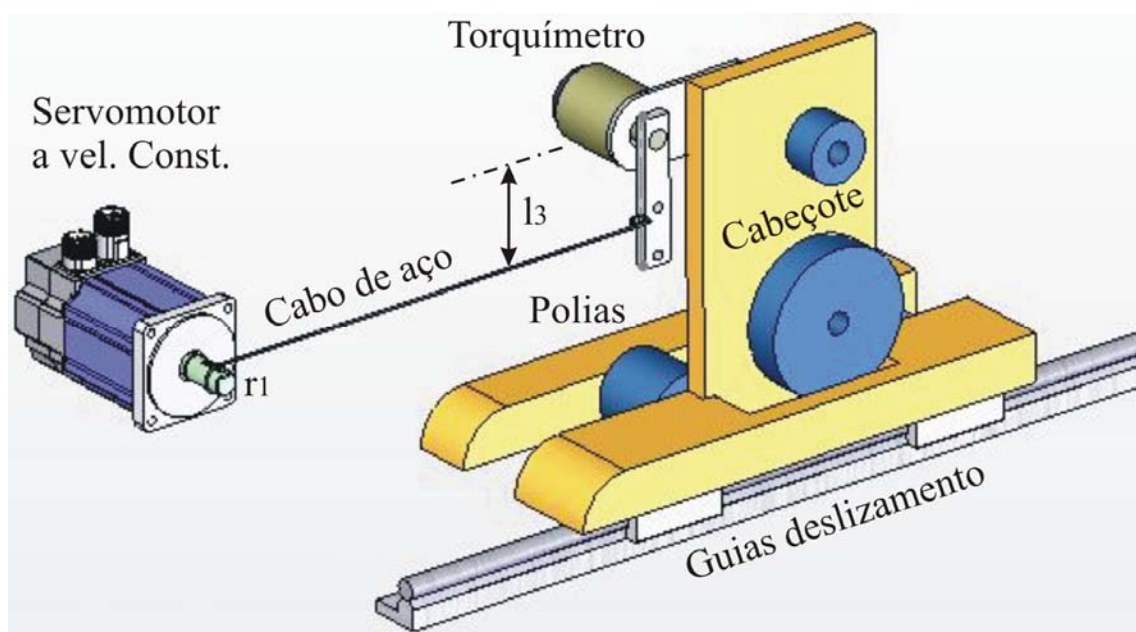


Figura 78 Esquema do ensaio realizado na medição do atrito viscoso.

Nas medições realizadas a velocidades constantes e lendo o indicador de torque do torquímetro obtivesse os dados da tabela 51.

Tabela 51 Dados obtidos do ensaio nos casquilhos de esferas recirculantes do eixo Y.

Vel. Angular rpm	Vel. Angular rad/s	Vel. linear ao rádio m/s	Força N
44	4,608	0,044	7,50
100	10,472	0,099	7,84
150	15,708	0,149	9,15
200	20,944	0,199	9,56
250	26,180	0,249	9,95
300	31,416	0,298	10,37
350	36,652	0,348	11,00
400	41,888	0,398	11,35
		r_1	

Onde:

$$1 \text{ rpm} = 0,10472 \text{ rad/s}$$

$$r_1 = 0,0095 \text{ m}$$

Na figura 79 apresenta-se o gráfico da variável velocidade linear em relação a raios r_1 versus força, na inclinação da reta (b) do gráfico obtém o coeficiente de atrito viscoso nos casquilhos.

$$b_3 = 11,089 \text{ N/(m/s)}$$

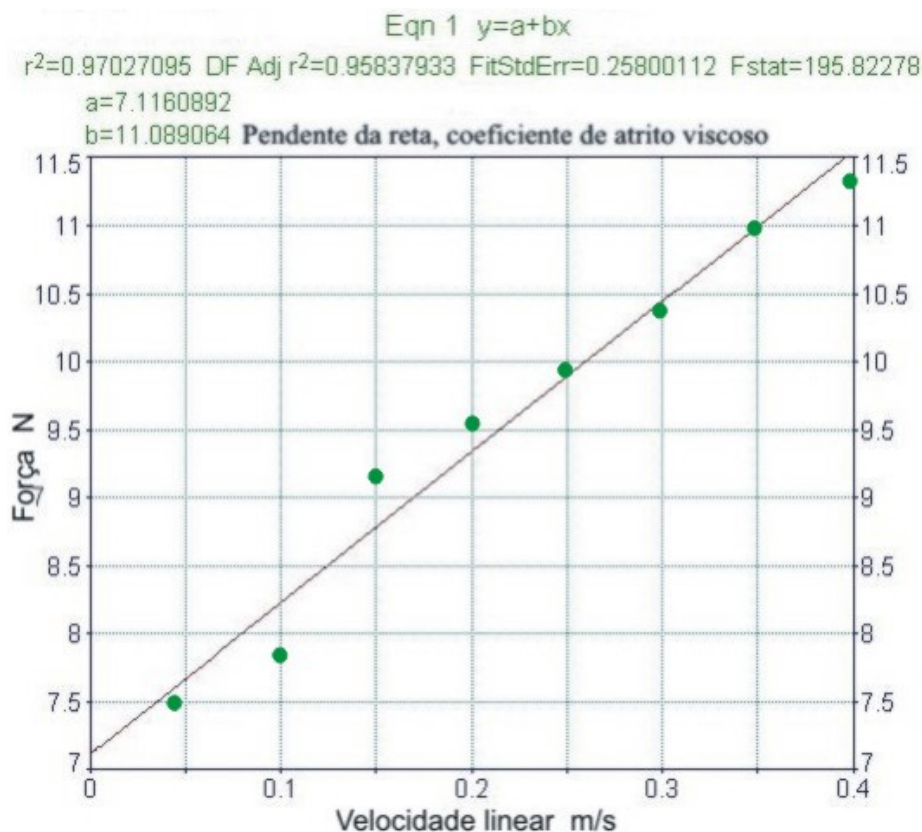


Figura 79 Curva de atrito viscoso nos casquilhos de esferas recirculantes.

A.7.8. Constante de elasticidade da correia do eixo Y

Na figura 80, apresenta-se a montagem realizada no ensaio para a medição da constante de elasticidade da correia no eixo Y. A espessura da correia é de 50 mm.

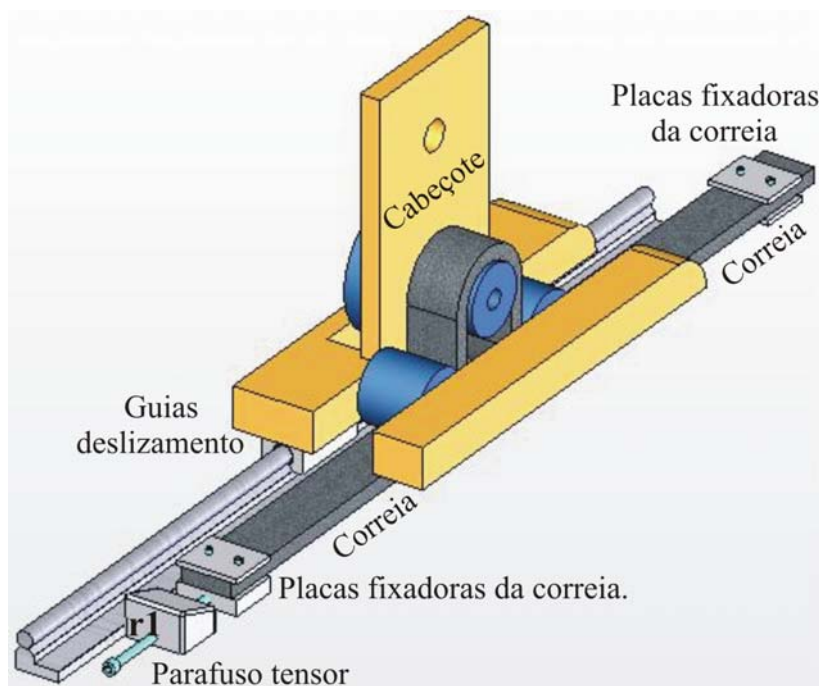


Figura 80 Esquema do ensaio realizado na medição da constante de elasticidade.

Neste ensaio foi usado o sistema de medição de torque-deslocamento angular, é aplicado um torque no parafuso que traciona a correia, sendo medido este torque em relação a giros do parafuso. Começa a se medir o torque no parafuso com a correia esticada, na tabela 52 apresenta-se os valores obtidos no instrumento em função dos giros do parafuso, passados a deslocamento linear.

Tabela 52 Dados obtidos do ensaio no parafuso da unidade tracionadora da correia.

Deslocamento angular do parafuso rad	Deslocamento linear do parafuso m	Torque Nm	Força N
0,557	0,000125	2,477	624,000
2,783	0,000625	3,389	854,000
8,906	0,002000	3,923	988,387
9,741	0,002188	5,884	1482,580
12,246	0,002750	6,865	1729,677
20,096	0,004513	7,845	1976,774
33,585	0,007542	9,807	2470,967
39,454	0,008860	12,680	3195,000

Onde:

$$r_1 = 0,003 \text{ m}$$

$$\text{Passo}$$

$$\text{parafuso} = 0.3125 \text{ mm}$$

Na figura 81 apresenta-se o gráfico da variável força versus deslocamento linear adquiridas na leitura do instrumento.

$$K_y = 268003,04 \text{ N/m}$$

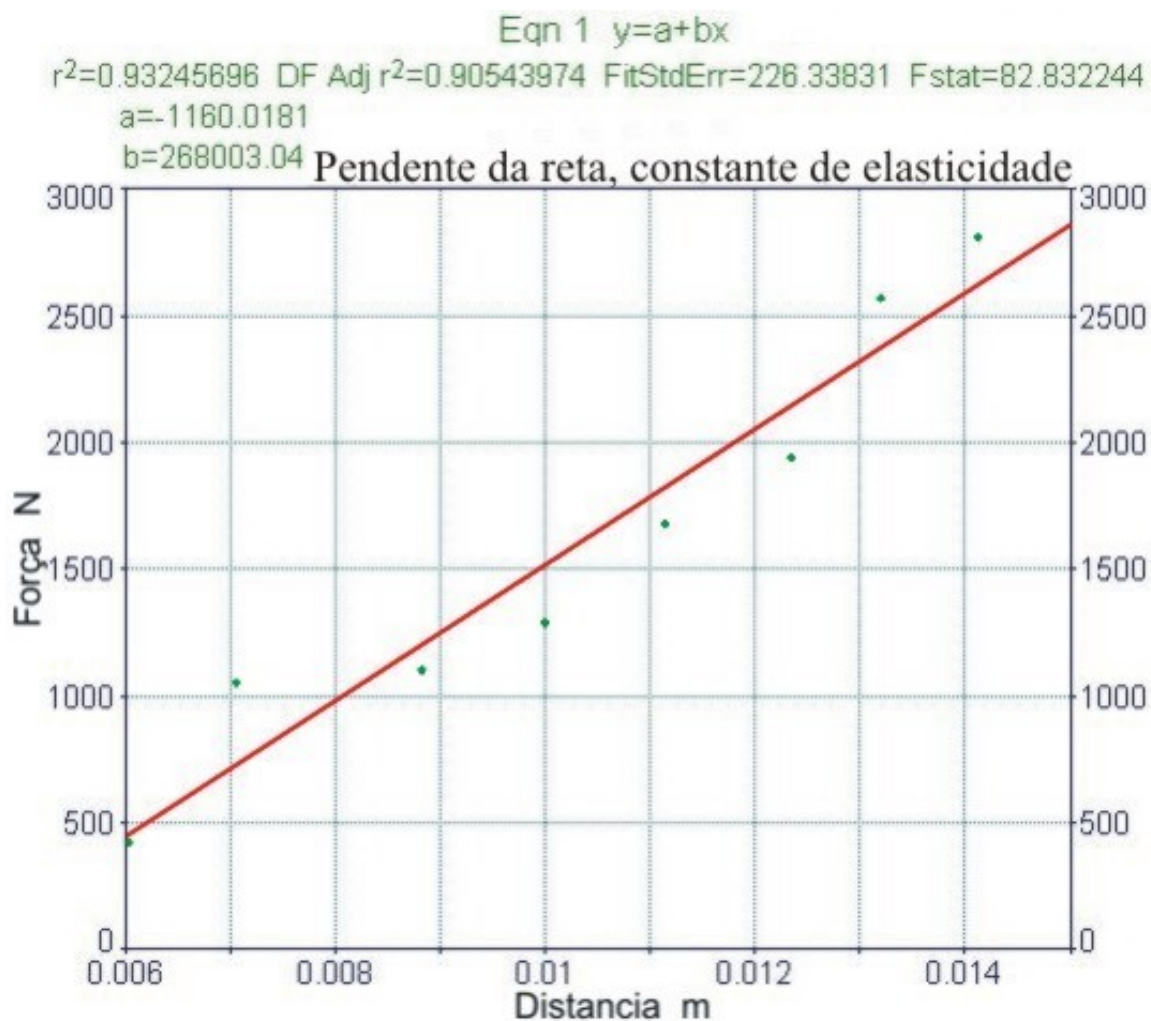


Figura 81 Curva da constante de elasticidade.

EIXO X	EIXO Y
$J_{polia} = m \cdot r^2$	
$r_x = 0,0331 \text{ m}$ $m_x = 0,379 \text{ kg}$	$r_y = 0,0458 \text{ m}$ $m_x = 0,488 \text{ kg}$
$J_x = J_{ser} + J_{pm} + J_{pd}$	$J_y = J_{ser} + J_{pp} + J_{ps} + J_{pt}$
$J_{pm} = J_{pd}$	$J_{pp} = J_{ps} = J_{pt}$
$J_x = 0,00022 + 2 \cdot 0,00042 = 1,05 \cdot 10^{-3} \text{ kgm}$	$J_y = 0,00022 + 3 \cdot 0,001023 = 3,749 \cdot 10^{-3} \text{ kgm}^2$
$b_x = b_{ser} + b_{pm} + b_{pd}$	$b_y = b_{ser} + b_{pp} + b_{ps} + b_{pt}$
$b_x = 0,0000668 + 0,011937 + 0,021446$ $b_x = 0.03345 \text{ Nms}$	$b_y = 0,0000668 + 0.08237$ $b_x = 0.08247 \text{ Nms}$

Onde:

r_x = radio polia.

m_x = massa da polia.

J = Momento de inércia total.

J_{ser} = Momento de inércia do servomotor.

J_{pm} = Momento de inércia da polia motora.

J_{pd} = Momento de inércia da polia de desvio.

J_{pp} = Momento de inércia da polia primaria.

J_{ps} = Momento de inércia da polia secundaria.

J_{pt} = Momento de inércia da polia terçaria.

b = Atrito viscoso total.

b_{ser} = Atrito viscoso do servomotor.

b_{pm} = Atrito viscoso da polia motora.

b_{pd} = Atrito viscoso da polia de desvio.

b_{pp} = Atrito viscoso da polia primaria.

b_{ps} = Atrito viscoso da polia secundaria.

b_{pt} = Atrito viscoso da polia de terçaria.

A.7.9. Torque de perturbação gerada pela esticada da correia

Neste tipo de transmissão de movimento onde é usada uma correia sincronizadora com polias dentadas, existe uma força gerada pelo esticamento da correia no sistema, esta força é mais uma que tem que vencer o servomotor no seguimento do perfil de movimento. Nas figuras 82 e 83 apresenta-se respectivamente o diagrama de forças dos eixos X-Y do DP-01/02.

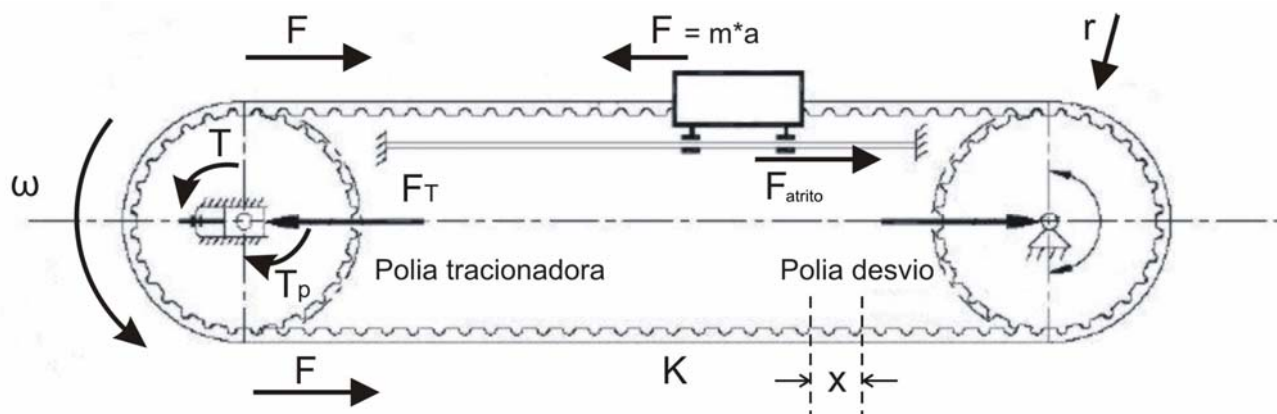


Figura 82 Diagrama de forças no eixo X.

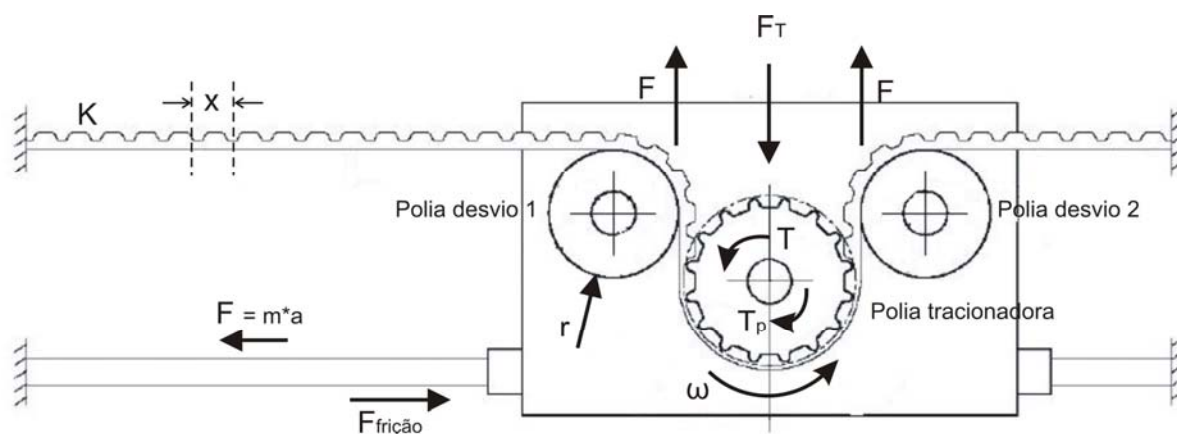


Figura 83 Diagrama de forças no eixo Y.

Os servoposicionadores para tensionar a correia usam um parafuso que puxa duas placas que engatam os finais da correia gerando a tensão desejada. Nas figuras 84 e 85 apresenta-se o arranjo escolhido nos eixos X e Y, respectivamente.

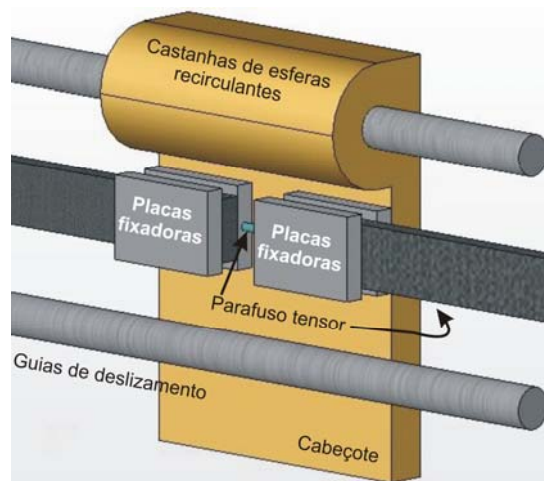


Figura 84 Sistema tensor aplicado na correia do eixo X.

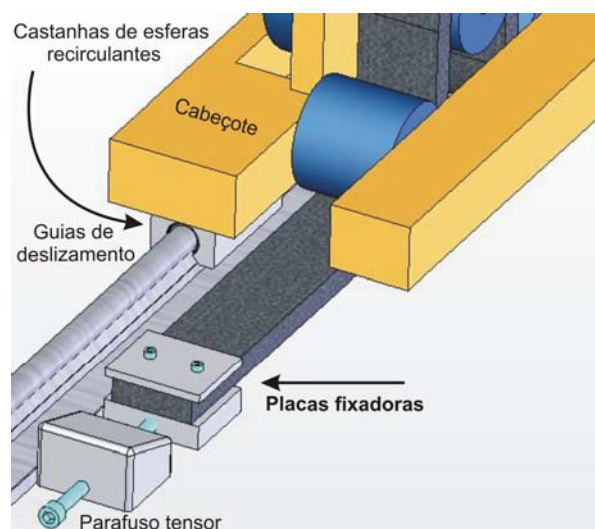


Figura 85 Sistema tensor aplicado na correia do eixo Y.

- O parafuso da placa tensora do eixo X é de medida métrica, sextavado de rosca inteira, diâmetro 6 mm e avanço 1 mm.
- O parafuso da placa tensora do eixo Y é de medida polegada, sextavado de rosca inteira, diâmetro 5/16 polegadas e avanço 1,41 mm.

EIXO X	EIXO Y
$X_x = 3,87 \text{ mm} = 0,00387 \text{ m}$ $r_x = 0,0331 \text{ m}$ $K_x = 232486 \text{ N/m}$ $n = 2$ $\mu = 0,01667$	$X_y = 1 \text{ mm} = 0,001 \text{ m}$ $r_y = 0,0458 \text{ m}$ $K_y = 268000 \text{ N/m}$ $n = 6$ $\mu = 0,01667$
$F_x = K_x * X_x = 899,820 \text{ N}$	$F_y = K_y * X_y = 240,127 \text{ N}$
$T_x = F_x * r_x = 29,784 \text{ Nm}$	$T_y = F_y * r_y = 10,998 \text{ Nm}$
$T_{px} = T_x * n * \mu = 0,993 \text{ Nm}$	$T_{py} = T_y * n * \mu = 1,1 \text{ Nm}$

Onde:

X = Avanço da correia na esticada.

r = radio polia.

K = constante de elasticidade da correia.

n = Quantidade de rolamentos.

μ = coeficiente de atrito.

F = Força gerada pela correia produto da distancia de avanço do parafuso.

T = Torque na polia onde esta montado o servomotor.

T_p = Torque de perturbação gerado quando a correia é esticada.

ANEXO 8. Ajuste do servosistema

Para ajustar e calibrar o sistema com o objetivo de atingir os requisitos de projeto e o correto desempenho do equipamento é preciso programar a placa de controle para um comportamento do servoposicionamento desejado usando parâmetros PID.

O ajuste dos parâmetros maximiza o desempenho dos servomotores, usando a realimentação de sinal vindo do *encoder* que continuamente corrige os erros em posição ou velocidade, fechando o laço de alimentação. A sintonia do controle dos servomotores é diagramada na curva de resposta ao degrau apresentada na figura 86.

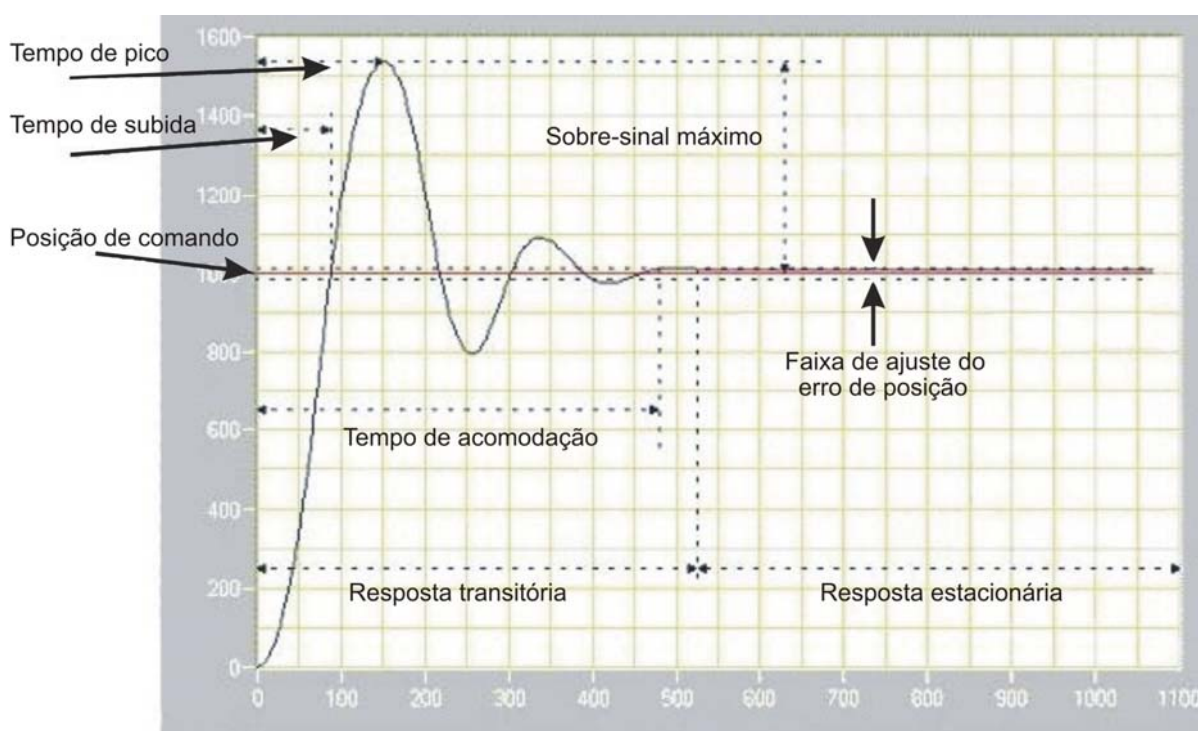


Figura 86 Curva de resposta ao degrau

Onde:

Faixa de ajuste do erro de posição: É a faixa de erro na posição que fica no equipamento quando esta chega ao estado estacionário.

Posição de comando: É a posição desejada que o equipamento tem que procurar.

Resposta estacionária: É a faixa da curva de resposta ao degrau onde a curva é mantida dentro da faixa de ajuste de erro de posição, começando esta faixa depois do tempo de acomodação. É dizer ela deixa de oscilar e fica dentro da faixa de erro de posição programada.

Resposta transitória: É a faixa da curva de resposta ao degrau em que a curva oscila em procura de atingir a posição desejada, até achar esta. É dizer, é o estado onde o equipamento segundo a programação da curva de velocidade acelera ou desacelerar em procura da posição de comando, até atingir esta e não sair da faixa de erro de posição programada.

Sobre-sinal máximo: É o máximo pico gerado pela curva de posição, o equipamento é afetado na resolução pelo sobre passagem desta, é dizer, quanto o equipamento está perto da posição de comando começa segundo a programação da curva de velocidade a desacelerar, não parando instantaneamente, este comprimento gerado na desaceleração à inércia que tem que se movimentar produz o sobre passagem.

Tempo de acomodação: É o tempo que precisa a curva de resposta para chegar e permanecer dentro da faixa de ajuste do erro ou resolução do equipamento.

Tempo de pico: É o tempo que precisa a curva de posição em atingir o primeiro pico de sobre-sinal.

Tempo de subida: É o tempo que precisa a curva de resposta para subir entre 10% e 90% do valor da posição de comando. Este tempo é inversamente afetado na procura de uma sobre-sinal máximo, é dizer, não pode se procurar uma sobre-sinal de 0% num tempo de subida quase zero.

O algoritmo inserido na MCB escolhida da marca *National Instrument* modelo PCI-7344 é de tipo PID+FF (PID-feedforward) apresentada na figura 87.

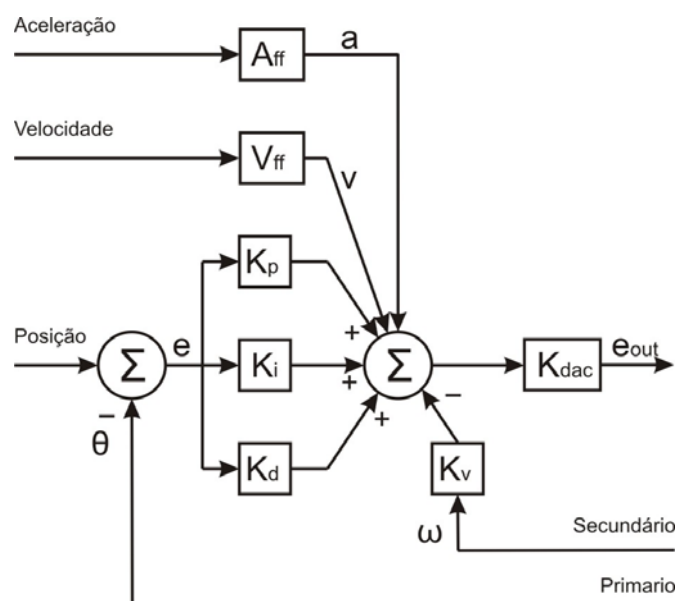


Figura 87 Algoritmo de controle inserto na placa de controle da *National Instrument*.

Na figura 88 é apresentada a interface usada pelo *software* MAX do fabricante das placas para ingressar as variáveis na programação do controle PID amostrada na figura 87. Onde é preciso o ingresso de outros parâmetros na procura da melhor configuração do sistema para atingir os requisitos de projetos escolhidos.

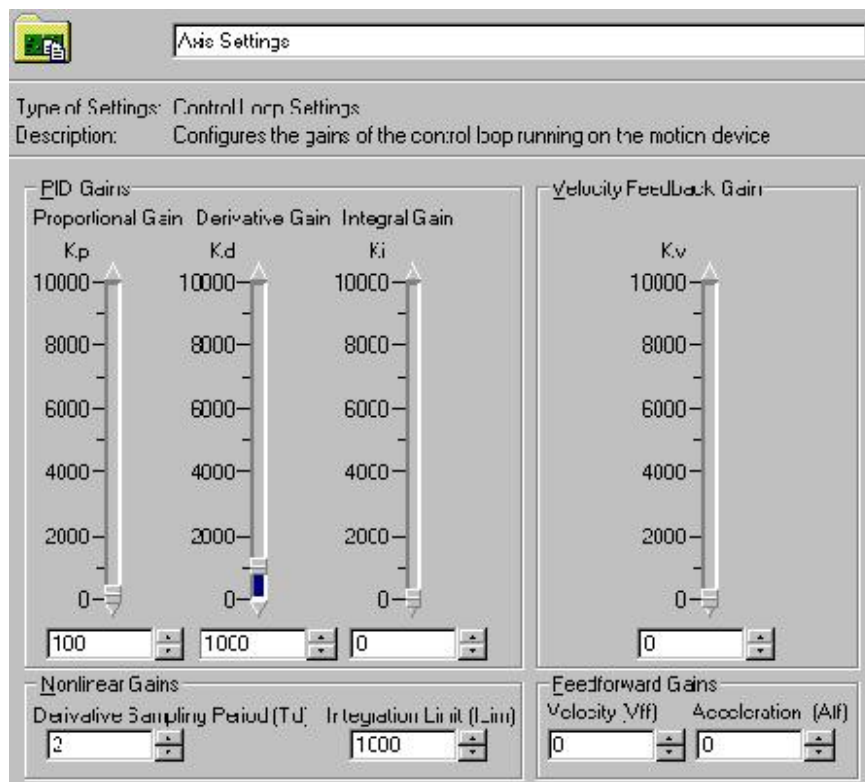


Figura 88 Interface usada pelo *software* MAX na configuração dos parâmetros PID.

Os parâmetros a ser preenchidos no *software* MAX apresentados na figura 88, com são descritos a continuação:

K_p : É o ganho proporcional, para cada período da amostra o laço de PID calcula o erro da posição e o multiplica pelo ganho K_p para produzir o componente proporcional da saída 16-bit do conversor K_{dac} . Este ganho depende somente do erro que é a diferença entre o ponto de ajuste e a variável do processo, aumentando o ganho proporcional aumenta a velocidade de resposta do sistema de controle e diminui o estado de erro, pelo contrário se este ganho é muito maior, a variável do processo oscilara tornando o sistema instável.

K_i : É o ganho integral, para cada período da amostra o erro da posição é adicionado à acumulação de erros precedentes da posição para dar forma a uma soma da integração. A soma da integração é escalada dividindo-o pelo o valor 256 antes de multiplicá-lo por K_i para produzir o componente integral da saída 16-bit do conversor K_{dac} . O ganho determina a atenuação do sinal posição de comando que aumenta com o tempo, é dizer, a resposta da integral aumenta

no tempo se o erro não é zero. É recomendado pelo fabricante das placas usar um valor 0 para aplicações com pequenas cargas estáticas. Para sistemas com elevadas cargas estáticas este valor tem que ser ajustado para minimizar o erro da posição de comando quando o servomotor atinge o ponto de posicionamento e permanece parado.

ILim: É o limite de integração, é usado para limitar o efeito do parâmetro K_i no laço PID, a somatória da integração incremental é comparada com o valor do limite de integração ILim e o menor de estas é multiplicada por K_i para produzir o componente integral da saída 16-bit do conversor K_{dac} . A função do parâmetro ILim é diminuir os erros produzidos nas acelerações e desacelerações dos servomotores segundo o comportamento escolhido na curva de movimento. Se o parâmetro K_i é 0 o parâmetro ILim não tem efeito no sistema.

Kd: É o ganho derivativo, para cada período de amostragem o laço de PID calcula a derivada do erro da posição, este valor é multiplicado por Kd a cada período de amostragem PID para produzir o componente derivativa da saída 16-bit do conversor K_{dac} . O ganho determina futuros comportamentos do erro extrapolando e eliminando as oscilações, é recomendado pelo fabricante das placas usar valores diferentes de 0 quando o *driver* está programado no modo torque para manter o servomotor estável, e se o *driver* é programado no modo velocidade o valor de kd tem que ser 0 ou muito próximos a ele.

Td: É o tempo derivativo que determina que tão freqüente a derivada do erro de posição é calculada, este período entrega ao sistema e ao ajuste de parâmetro K_d uma grande flexibilidade, é dizer, a maior valor de Td é menor a taxa da freqüência onde a derivada da posição é calculada, pelo contrario a menor valor de Td é maior a taxa da freqüência onde a derivada da posição é calculada. Na aplicação do equipamento protótipo o eixo Y apresenta elevada inércia gerando um erro de posicionamento que varia lentamente precisando de um calculo da derivada de posição de menor freqüência, sendo isto conseguindo com um valor Td elevado. Pelo contrario no eixo X do equipamento protótipo apresenta uma inércia baixa precisando de leitura da derivada de posição de maior freqüência, sendo isto conseguindo com um valor Td baixo.

K_v : É o ganho de realimentação de velocidade secundário, especificamente de velocidade, de funcionamento similar ao ganho derivativo atuando no amortecimento do sistema. Pode ser usado o mesmo *encoder* para fechar um

segundo laço em velocidade angular, ou pode ser usada uma régua ótica em medição direta para fechar o laço primário em posição e o *encoder* para fechar o laço secundário em velocidade.

V_{ff} : É o ganho de trans-alimentação da velocidade é usado para diminuir o erro de seguimento no instante em que o posicionador está-se movimentando a velocidade constante. Segundo o fabricante das placas de controle quando o *driver* está trabalhando no modo torque o erro e seguimento é proporcional ao torque requerido e não a sua velocidade não precisando da trans-alimentação de velocidade.

A_{ff} : É o ganho de trans-alimentação da aceleração é usado para diminuir o erro de seguimento no instante em que o posicionador está acelerando ou desacelerando.

a : Aceleração. [pulsos/s²]

v : Velocidade angular. [pulsos/s]

θ : Deslocamento do servomotor. [pulsos]

e : Erro de posição.

e_{out} : Sinal de tensão do conversor digital analógico. [V]

ω : Velocidade angular do servomotor. [pulsos/s]

K_{dac} : Conversor digital analógico.

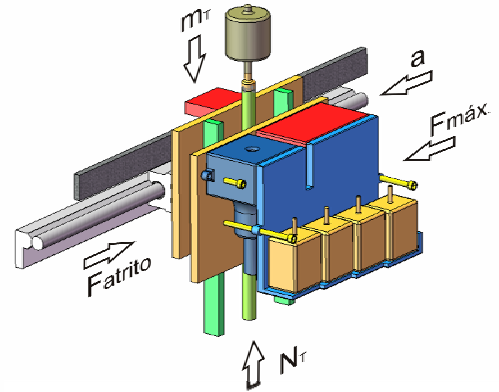
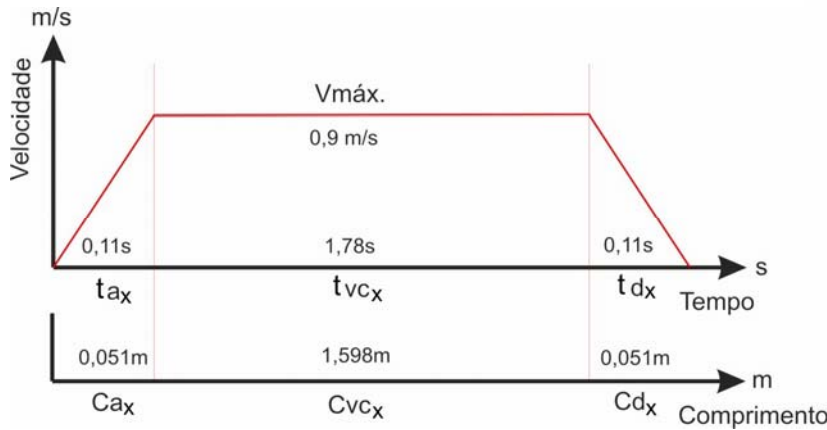
Os parâmetros a ser preenchidos no *software* MAX têm faixas de valores de funcionamento importado pela programação interna da placa, eles são apresentados na tabela 57.

Tabela 53 Faixas dos parâmetros usados na configuração do controle PID.

Definição do parâmetro no MAX	Símbolo	Faixa dos valores
Ganho proporcional	K_p	0 a 32767
Ganho integral	K_i	0 a 32767
Limite de integração	$ILim$	0 a 32767
Ganho derivativo	K_d	0 a 32767
Período de amostragem derivativo	T_d	0 a 63
Ganho de realimentação de velocidade	K_v	0 a 32767
Ganho de trans-alimentação da velocidade	V_{ff}	0 a 32767
Ganho de trans-alimentação da aceleração	A_{ff}	0 a 32767

ANEXO 9. Perfil de velocidade de movimento do EM-01/01 projetado (calculado ideal)

A.9.1. Eixo X: Calculo utilizado pelos fabricantes de servomotores.



$$C_{Tx} = C_{ax} + C_{vcx} + C_{dx} = 1,7 \text{ m}$$

$$t_{Tx} = t_{ax} + t_{vcx} + t_{dx}$$

$$a = \frac{v_{\max}^2}{2 * C_{ax}} = \frac{0,9^2}{2 * 0,051} = 7,9 \text{ m/s}^2$$

$$t_{ax} = t_{dx} = \frac{v_{\max}}{a} = \frac{0,09}{7,9} = 0,11 \text{ s}$$

$$t_{vcx} = \frac{C_{vcx}}{v_{\max}} = \frac{1,598}{0,9} = 1,78 \text{ s}$$

$$t_{Tx} = 2 * t_{ax} + t_{vcx} = 2 * 0,11 + 1,78 = 2 \text{ s}$$

$$m_{Tx} = m_{cax} + m_{cx} = 3 + 5 = 8 \text{ kg}$$

$$N_{Tx} = g * (m_{Tx}) = 9,81 * 8 = 78,48 \text{ N}$$

$$F_{\text{massa}} = m_{Tx} * a = 8 * 7,9 = 63,53 \text{ N}$$

$$F_{\text{atrito}} = n * \mu * N_{Tx} = 3 * 0,004 * 78,48 = 0,94 \text{ N}$$

$$F_{\max} = F_{\text{massa}} + F_{\text{atrito}} = 63,53 + 0,94 = 64,47 \text{ N}$$

$$F_{\min} = F_{\text{massa}} - F_{\text{atrito}} = 63,53 - 0,94 = 62,59 \text{ N}$$

$$F_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{(F_{\max}^2 * t_a + F_{\text{atrito}}^2 * t_{vc} + F_{\min}^2 * t_d)}{t_a + t_{vc} + t_d}} = \sqrt{\frac{64,47^2 * 0,11 + 0,94^2 * 1,78 + 62,59^2 * 0,11}{0,11 + 1,78 + 0,11}}$$

$$F_{\text{RMS}} = 21,40 \text{ N}$$

$$T_{\max} = F_{\max} * r_{px} = 64,47 * 0,0331 = 2,13 \text{ Nm}$$

$$T_{\text{RMS}} = F_{\text{RMS}} * r_{px} = 21,40 * 0,0331 = 0,71 \text{ Nm}$$

$$\omega_{sm} = \left(\frac{v_{max}}{2 * \pi r_{px}} \right) * 60 = \left(\frac{0,9}{2 * \pi 0,0331} \right) * 60 = 259,65 \quad \text{rpm}$$

Calculo adotado no dimensionamento dos servomotores, com um rendimento (η) do conjunto de 80% (catálogos e informação técnica dos fornecedores de servomotores).

$$T_{RMS\eta} = \frac{T_{RMS}}{\eta} = \frac{0,71}{0,80} = 0,89 \quad \text{Nm} \quad T_{max\eta} = \frac{T_{max}}{\eta} = \frac{2,13}{0,8} = 2,67 \quad \text{Nm}$$

$$\omega_{sm\eta} = \frac{\omega_{sm}}{\eta} = \frac{260}{0,80} = 325 \quad \text{rpm}$$

Aplicando redutor no eixo do servomotor.

$$\text{Redutor} \quad i_{red} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{80}{40} = 2$$

Servomotor

$$T_{max_{red}} = \frac{T_{max\eta}}{i_{red}} = \frac{2,67}{2} = 1,33 \quad \text{Nm}$$

$$T_{RMS_{red}} = \frac{T_{RMS\eta}}{i_{red}} = \frac{0,89}{2} = 0,45 \quad \text{Nm}$$

$$\omega_{red} = \omega_{sm\eta} * i_{red} = 325 * 2 = 650 \quad \text{rpm}$$

Quando um servomotor pelo torque e sua velocidade requisitados for selecionado, é aconselhado calcular o pico da potência exigido pela carga e compará-lo com o pico de potência disponível no servomotor. Isso confirmará que o dimensionamento é realista e pode ajudar a evitar uma solução ineficiente em que o servomotor produza somente uma fração de sua potência de saída, normalmente girando em baixas velocidades.

$$\text{Potência do eixo: } P = T * \omega * \frac{\pi}{30} \quad [\text{W}]$$

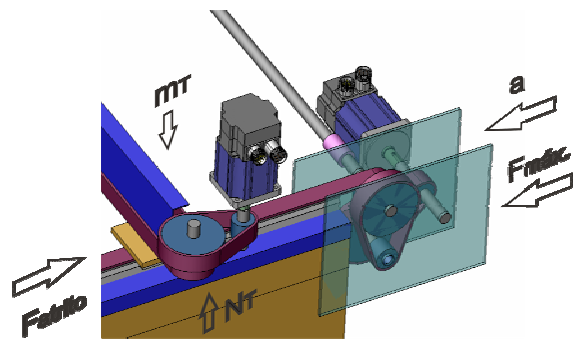
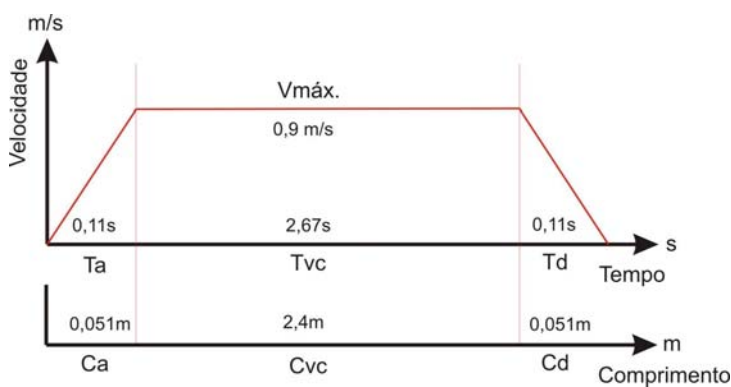
$$P_{RMS} = T_{RMS\eta} * \omega_{red} * \frac{\pi}{30} = 0,45 * 650 * \frac{\pi}{30} = 30,6 \quad \text{W}$$

$$P_{max} = T_{max\eta} * \omega_{red} * \frac{\pi}{30} = 1,33 * 650 * \frac{\pi}{30} = 90,5 \quad \text{W}$$

Símb.	Definição	Unid
a	Aceleração.	m/s^2
C_{ax}	Comprimento de aceleração do eixo X.	m
C_{dx}	Comprimento de desaceleração do eixo X.	m
C_{Tx}	Comprimento total ocupado no perfil de movimento do eixo X.	m
C_{vcx}	Comprimento de velocidade constante do eixo X.	m
F_{atrito}	Força produzida pelo atrito dos casquilhos.	N
F_{massa}	Força necessária para acelerar a carga.	N
F_{max}	Força máxima para atingir o perfil de movimento.	N
F_{min}	Força mínima para atingir o perfil de movimento.	N
F_{RMS}	Força media da raiz quadrada.	N
g	Constante da gravidade.	m/s^2
i_{red}	Relação do redutor.	
m_{cx}	Massa do carro porta-cabeçote.	kg
M_{cax}	Massa do eixo X.	kg
m_{Tx}	Massa total no eixo X.	kg
n	Quantidades de casquilhos da guia de deslizamento.	
N_{tx}	Força normal ao peso aplicado no eixo X.	N
P_{max}	Potencia mecânica máxima que precisa o servomotor.	W
P_{rms}	Potencia mecânica media da raiz quadrada.	W
r_1	Radio menos das polias no redutor.	m
r_2	Radio maior das polias no redutor.	m
r_{px}	Radio da polia no eixo X.	m
t_{ax}	Tempo de aceleração no eixo X.	s
t_{dx}	Tempo de desaceleração no eixo X.	s
T_{max}	Torque máximo do servomotor necessário para movimentar a carga.	Nm
$T_{max_{red}}$	Torque que precisa o servomotor depois de aplicado fator de rendimento e relação de redutor.	Nm
$T_{max \eta}$	Torque máximo do servomotor após o fator de rendimento.	Nm
T_{RMS}	Torque médio da raiz quadrada necessária para movimentar a carga	Nm
$T_{RMS_{red}}$	Torque médio da raiz quadrada depois de aplicado fator de rendimento e relação de redutor.	Nm
$T_{RMS \eta}$	Torque médio da raiz quadrada após o fator de rendimento.	Nm
t_{Tx}	Tempo total ocupado no perfil de movimento do eixo Y.	s

Símb.	Definição	Unid
t_{vcx}	Tempo de velocidade constante do eixo Y.	s
v_{max}	Velocidade máxima de ser atingida pela curva da velocidade.	m/s
η	Rendimento do mecanismo.	
μ	Coefficiente de atrito de rolamento.	
ω	Velocidade angular do servomotor.	rpm
ω_{red}	Velocidade angular que precisa o servomotor depois de aplicado fator de rendimento e relação de redutor.	rpm
ω_{sm}	Velocidade angular no servomotor para atingir o perfil de velocidade.	rpm
$\omega_{sm} \eta$	Velocidade angular do servomotor após o fator de rendimento.	rpm

A.9.2. Eixo Y: Calculo utilizado pelos fabricantes de servomotores.



$$C_{Ty} = C_{ay} + C_{vcy} + C_{dy} = 2,5 \text{ m}$$

$$t_{Ty} = t_{ay} + t_{vcy} + t_{dy}$$

$$a = \frac{v_{max}^2}{2 * C_{ay}} = \frac{0,9^2}{2 * 0,051} = 7,9 \text{ m/s}^2$$

$$t_{ay} = t_{dy} = \frac{v_{max}}{a} = \frac{0,9}{7,9} = 0,11 \text{ s} \quad t_{vcy} = \frac{C_{vcy}}{v_{max}} = \frac{2,39}{0,9} = 2,67 \text{ s}$$

$$t_{Ty} = 2 * t_{ay} + t_{vcy} = 2 * 0,11 + 2,67 = 2,9 \text{ s}$$

$$m_{Ty} = m_{cay} + m_{cy} = 26 + 8 = 34 \text{ kg}$$

$$N_{Ty} = g * (m_{Ty}) = 9,81 * 34 = 333,54 \text{ N}$$

$$F_{massa} = m_{Ty} * a = 34 * 7,9 = 271,33 \text{ N}$$

$$F_{atrito} = n * \mu * N_{Ty} = 3 * 0,004 * 333 = 4 \text{ N}$$

$$F_{max} = F_{massa} + F_{atrito} = 271,33 + 4 = 275,33 \text{ N}$$

$$F_{min} = F_{massa} - F_{atrito} = 271,33 - 4 = 267,33 \text{ N}$$

$$F_{RMS} = \sqrt{\frac{(F_{max}^2 * t_a + F_{atrito}^2 * t_{vc} + F_{min}^2 * t_d)}{t_a + t_{vc} + t_d}} = \sqrt{\frac{275,33^2 * 0,11 + 4^2 * 2,67 + 267,33^2 * 0,11}{0,11 + 2,67 + 0,11}}$$

$$F_{RMS} = 75,90 \text{ N}$$

$$T_{max} = F_{max} * r_{py} = 275,33 * 0,0331 = 9,11 \text{ Nm}$$

$$T_{RMS} = F_{RMS} * r_{py} = 75,90 * 0,0331 = 2,51 \text{ Nm}$$

$$\omega_{sm} = \left(\frac{v_{max}}{2 * \pi * r_{py}} \right) * 60 = \left(\frac{0,9}{2 * \pi * 0,0331} \right) * 60 = 259,65 \text{ rpm}$$

Calculo adotado no dimensionamento dos servomotores, com um rendimento (η) do conjunto de 80% (catálogos e informação técnica dos fornecedores de servomotores).

$$T_{RMS\eta} = \frac{T_{RMS}}{\eta} = \frac{2,51}{0,80} = 3,14 \text{ Nm} \quad T_{max\eta} = \frac{T_{max}}{\eta} = \frac{9,11}{0,8} = 11,39 \text{ Nm}$$

$$\omega_{sm\eta} = \frac{\omega_{sm}}{\eta} = \frac{260}{0,80} = 325 \text{ rpm}$$

Aplicando redutor no eixo do servomotor.

$$\text{Redutor } i_{red} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{80}{40} * \frac{80}{40} = 4$$

Servomotor

$$T_{maxred} = \frac{T_{max\eta}}{i_{red}} = \frac{11,39}{4} = 2,85 \text{ Nm}$$

$$T_{RMSred} = \frac{T_{RMS\eta}}{i_{red}} = \frac{3,14}{4} = 0,79 \text{ Nm}$$

$$\omega_{red} = \omega_{sm\eta} * i_{red} = 325 * 4 = 1300 \text{ rpm}$$

Quando um servomotor pelo torque e sua velocidade requisitados for selecionado, é aconselhado calcular o pico da potência exigido pela carga e compará-lo com o pico de potência disponível no servomotor. Isso confirmará que o dimensionamento é realista e pode ajudar a evitar uma solução ineficiente em que o

servomotor produza somente uma fração de sua potência de saída, normalmente girando em baixas velocidades.

$$\text{Potência do eixo: } P = T * \omega * \frac{\pi}{30} \text{ [W]}$$

$$P_{\text{RMS}} = T_{\text{RMS}\eta} * \omega_{\text{red}} * \frac{\pi}{30} = 0,79 * 1300 * \frac{\pi}{30} = 108 \text{ W}$$

$$P_{\text{max}} = T_{\text{max}\eta} * \omega_{\text{red}} * \frac{\pi}{30} = 2,85 * 1300 * \frac{\pi}{30} = 388 \text{ W}$$


Símb.	Definição	Unid
a	Aceleração.	m/s ²
C _{ay}	Comprimento de aceleração do eixo Y.	m
C _{dy}	Comprimento de desaceleração do eixo Y.	m
C _{Ty}	Comprimento total ocupado no perfil de movimento do eixo Y.	m
C _{vcy}	Comprimento de velocidade constante do eixo Y.	m
F _{atrito}	Força produzida pelo atrito dos casquilhos.	N
F _{massa}	Força necessária para acelerar a carga.	N
F _{max}	Força máxima para atingir o perfil de movimento.	N
F _{min}	Força mínima para atingir o perfil de movimento.	N
F _{RMS}	Força media da raiz quadrada.	N
g	Constante da gravidade.	m/s ²
i _{red}	Relação do redutor.	
m _{cy}	Massa do carro porta-cabeçote.	kg
M _{cay}	Massa do eixo X.	kg
m _{Ty}	Massa total no eixo Y.	kg
n	Quantidades de casquilhos da guia de deslizamento.	
N _{ty}	Força normal ao peso aplicado no eixo Y.	N
P _{max}	Potencia mecânica máxima que precisa o servomotor.	W
P _{rms}	Potencia mecânica media da raiz quadrada.	W
r ₁	Radio menos das polias no redutor.	m
r ₂	Radio maior das polias no redutor.	m
r _{py}	Radio da polia no eixo Y.	m
t _{ay}	Tempo de aceleração no eixo Y.	s
t _{dy}	Tempo de desaceleração no eixo Y.	s


Símb.	Definição	Unid
T_{\max}	Torque máximo do servomotor necessário para movimentar a carga.	Nm
$T_{\max_{\text{red}}}$	Torque que precisa o servomotor depois de aplicado fator de rendimento e relação de redutor.	Nm
$T_{\max \eta}$	Torque máximo do servomotor após o fator de rendimento.	Nm
T_{RMS}	Torque médio da raiz quadrada necessária para movimentar a carga	Nm
$T_{\text{RMS}_{\text{red}}}$	Torque médio da raiz quadrada depois de aplicado fator de rendimento e relação de redutor.	Nm
$T_{\text{RMS} \eta}$	Torque médio da raiz quadrada após o fator de rendimento.	Nm
t_{Ty}	Tempo total ocupado no perfil de movimento do eixo Y.	s
t_{vcy}	Tempo de velocidade constante do eixo Y.	s
v_{\max}	Velocidade máxima de ser atingida pela curva da velocidade.	m/s
η	Rendimento do mecanismo.	
μ	Coefficiente de atrito de rolamento.	
ω	Velocidade angular do servomotor.	rpm
ω_{red}	Velocidade angular que precisa o servomotor depois de aplicado fator de rendimento e relação de redutor.	rpm
ω_{sm}	Velocidade angular no servomotor para atingir o perfil de velocidade.	rpm
$\omega_{\text{sm} \eta}$	Velocidade angular do servomotor após o fator de rendimento.	rpm

ANEXO 10. Resumo dos formatos de arquivos gráficos mais comuns nas empresas de CV.

Extensão	Class.	Nome próprio	Descrição
.AI	Vetor	<i>Adobe Illustrator</i>	Formato vetorial do Adobe <i>Illustrator</i> . É uma variante do <i>Postscript</i> .
.BMP	<i>Bitmap</i>	<i>Windows Bitmap</i>	Formato <i>Bitmap</i> dos programas Microsoft Windows.
.CDR	Vetor	<i>Coreldraw</i>	Formato vetor do software <i>Coreldraw</i> , sendo válido para PC e MAC.
.CGM	Vetor	<i>Computer Graphics Metafile</i>	Formato vetor usado para desenhos complexos de engenharia.
.CIN	<i>Bitmap</i>	<i>Cineon</i>	Formato <i>Bitmap</i> é uma variante do formato DPX dirigido a filmes digitais.
.CPT	<i>Bitmap</i>	<i>Corel Photo-Paint Image</i>	Formato <i>Bitmap</i> padrão do <i>Corel Photo-Paint</i> . Poucos programas suportam este formato.
.DRW	Vetor	<i>Micrografx Designer Draw</i>	Formato vetor usado para diferentes programas em DOS e Windows.
.DWG	Vetor	<i>Standard Drawing Cad</i>	Formato vetor usado para armazenar dados de programas CAD.
.DXF	Vetor	<i>Data eXchange File</i>	Formato vetor no padrão ASCII utilizados para armazenar dados de programas CAD.
.EPS	Vetor	<i>Encapsulated PostScript</i>	Formato vetor usado para importar e exportar arquivos <i>PostScript</i> .
.EMF	Vetor	<i>Windows Enhanced File</i>	Formato vetor, versão avançada do Windows <i>Metafile</i> .
.GIF	<i>Bitmap</i>	<i>Graphics Interchange Format</i>	Formato <i>Bitmap</i> que suporta imagens animadas Suporta somente 255 cores por quadro.

Extensão	Class.	Nome próprio	Descrição
.JPEG .JPG	<i>Bitmap</i>	<i>Joint Photographic Experts Group</i>	Formato <i>Bitmap</i> usado extensivamente para fotos na <i>web</i> .
.JPG2 .JP2	<i>Bitmap</i>	<i>Joint Photographic Experts Group</i>	Formato <i>Bitmap</i> é um sucessor do JPEG.
.PDF	Vetor	<i>Portable Document Format</i>	Formato vetor é uma versão simplificada do <i>PostScript</i> . Formato nativo do <i>Adobe Acrobat Reader</i> .
.PNG	<i>Bitmap</i>	<i>Portable Network Graphics</i>	Formato <i>Bitmap</i> , originalmente designado para substituir o uso de GIF.
.PPM	<i>Bitmap</i>	<i>Portable Pixmap Format</i>	Formato <i>Bitmap</i> em tons de cinza, escrito em texto e pode ser processado por ferramentas para texto.
.PS	Vetor	<i>PostScript</i>	Formato vetor destinado a saídas em impressoras.
.PSD	<i>Bitmap</i>	<i>Photoshop Document</i>	Formato <i>Bitmap</i> padrão da Adobe para documentos do <i>Photoshop</i> .
.PSP	<i>Bitmap</i>	<i>Paint Shop Pro Document</i>	Formato <i>Bitmap</i> nativo do <i>Paint Shop Pro</i> , de forma similar ao .psd do <i>Adobe Photoshop</i> .
.SVG .SVGZ	Vetor	<i>Scalable Vector Graphics</i>	Formato vetor baseado no XML, definido pelo <i>World Wide Web Consortium</i> , usado em navegadores.
.TIFF .TIF	<i>Bitmap</i>	<i>Tagged Image File Format</i>	Formato <i>Bitmap</i> usado extensivamente para gráficos tradicionais impressos.
.WMF	Vetor	<i>Windows Metafile</i>	Formato vetor nativo do Microsoft Windows para armazenar imagens.

 Formatos tipo Vetor.

 Formatos tipo Bitmap.

ANEXO 11. Exemplo do processo da decodificação do desenho

Explica-se o processo de decodificação de um desenho no formato DXF, as razões da escolha da metodologia de decodificação foram explicadas no capítulo 5.

Um desenho simples feito no *software Autocad* (figura 89), sem cores é especificamente usado para gerar movimento vetorizado. Nos equipamentos: Impressora e gravador LASER (movimento varredura), o uso de cores é necessário, pois, no caso da impressora, depende de que cartucho vai ser ativado correspondente à cor decodificada no desenho; no caso do gravador a LASER a cor é proporcional à potencia do feixe LASER.

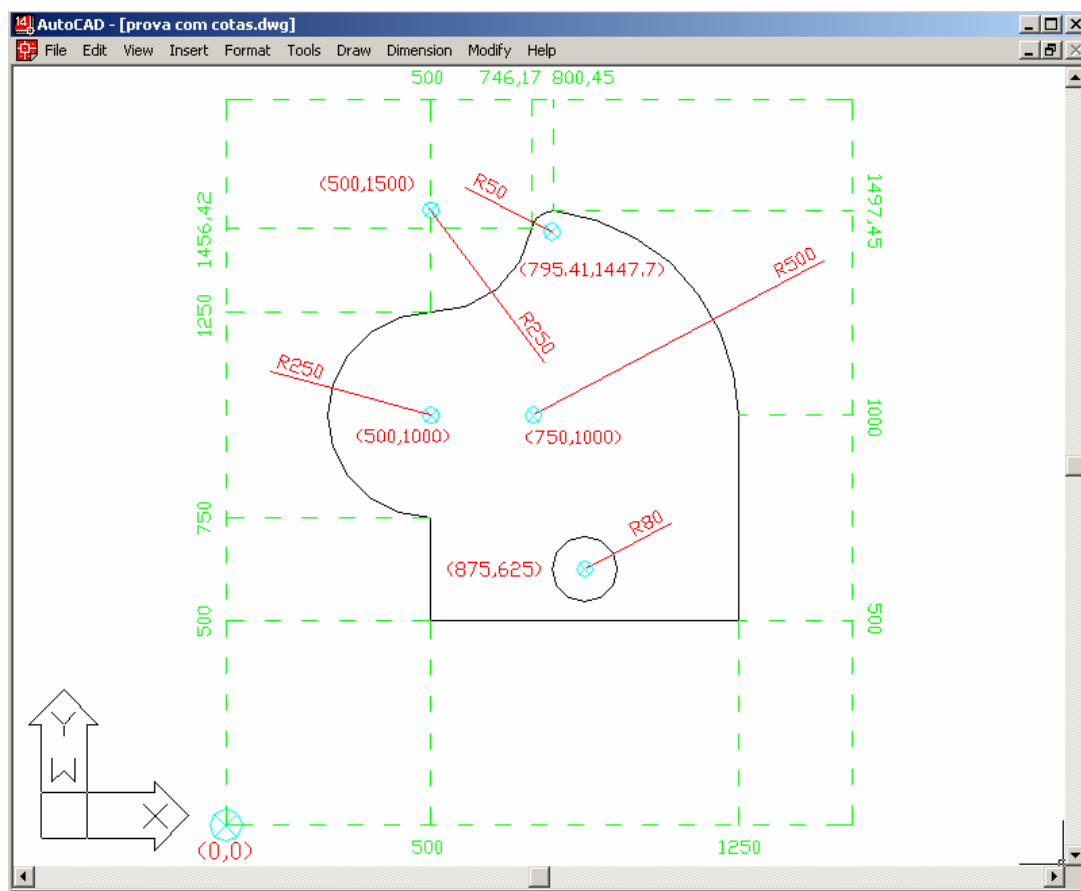


Figura 89 Desenho de exemplo feito no *software autocad*.

O desenho está feito na cor preta, as linhas de outras cores indicam as cotas e a localização deste no espaço. A decodificação é feita em coordenadas absolutas. O desenho é guardado em formato DXF.

Na decodificação de formato DXF ao código G é usado o *software ACE Converter* versão 3.2, de livre acesso, de graça e com o código fonte aberto. O *software ACE* entrega um arquivo em formato txt (figura 90).

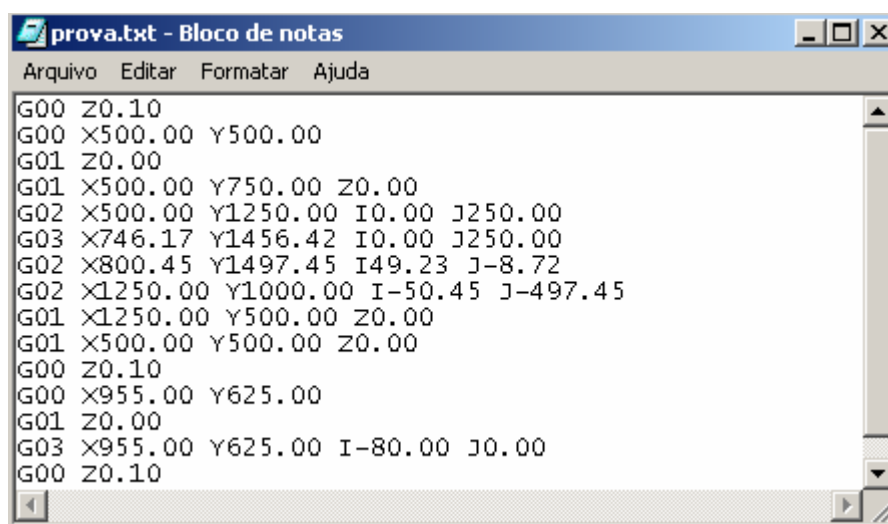


Figura 90 Decodificação do desenho exemplo feito no *software autocad*.

O *software* chamado “Equipamulti” (Capítulo 5) criado e projetado para o EM-01/01, na plataforma *Labview* pode aceitar dois tipos de entrada de dados (figura 91).



Figura 91 Tela inicial do *software* “Equipamulti”.

A primeira em uma tela desdobrada (figura 92), se entra com as linhas de código em linguagem G de forma escrita, aqui é permitido gravar as linhas de código como arquivo de formato txt; A segunda forma é carregando o arquivo texto (figura 93) entregue pelo *software* ACE.

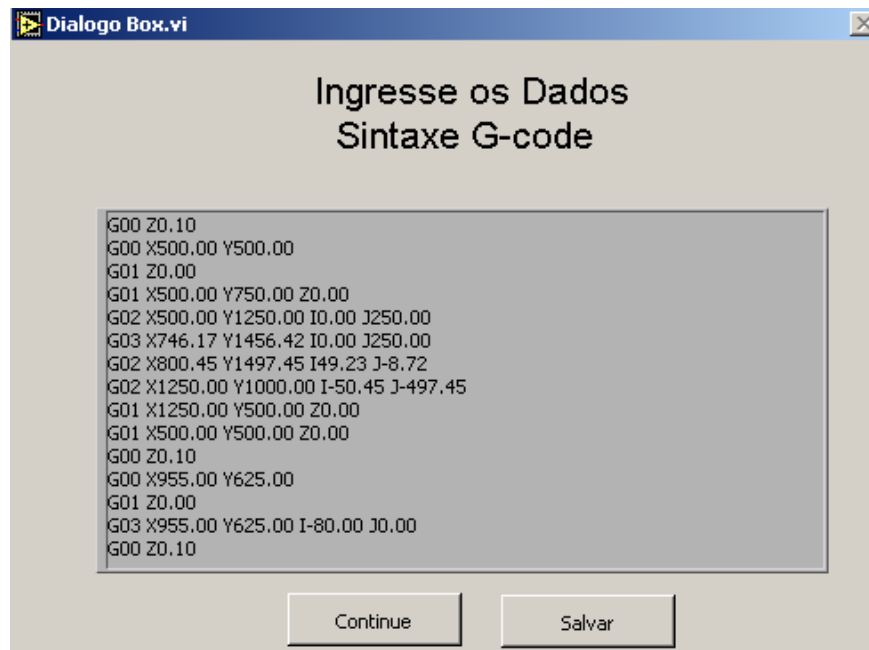


Figura 92 Entrada de dados em forma escrita.

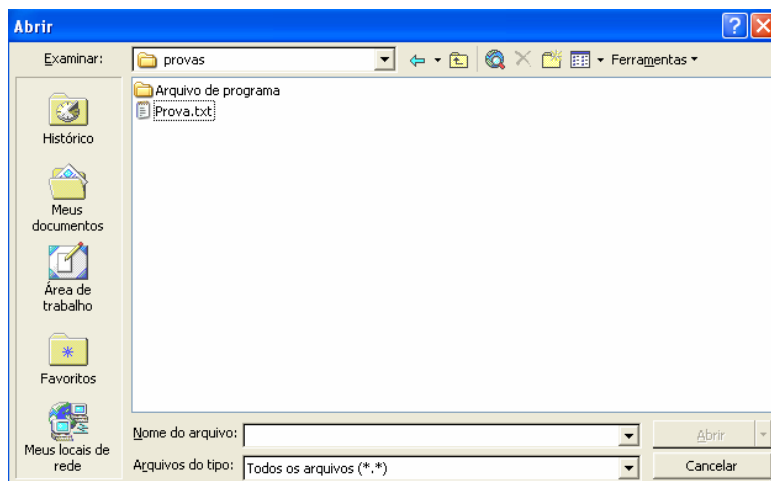


Figura 93 Entrada de dados a partir de arquivo.

Uma vez obtidas as linhas de código, é chamada a sub-rotina “verificadados.vi” apresentada na figura 94, que interpreta as linhas de código em formato txt, e preenche a matriz de posição. Na figura 95 é apresentada o arranjo das sub-rotinas contidas dentro de “verificadados.vi”,

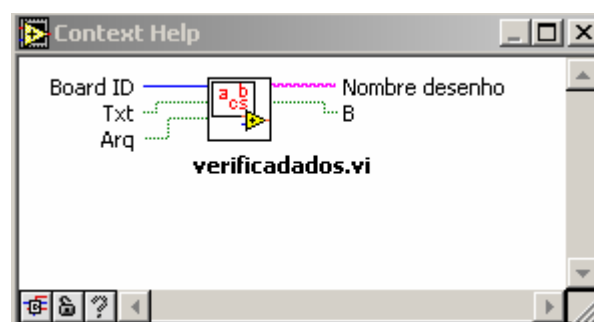


Figura 94 Sub-rotina que realiza o preenchimento da “matriz posicionamento”.

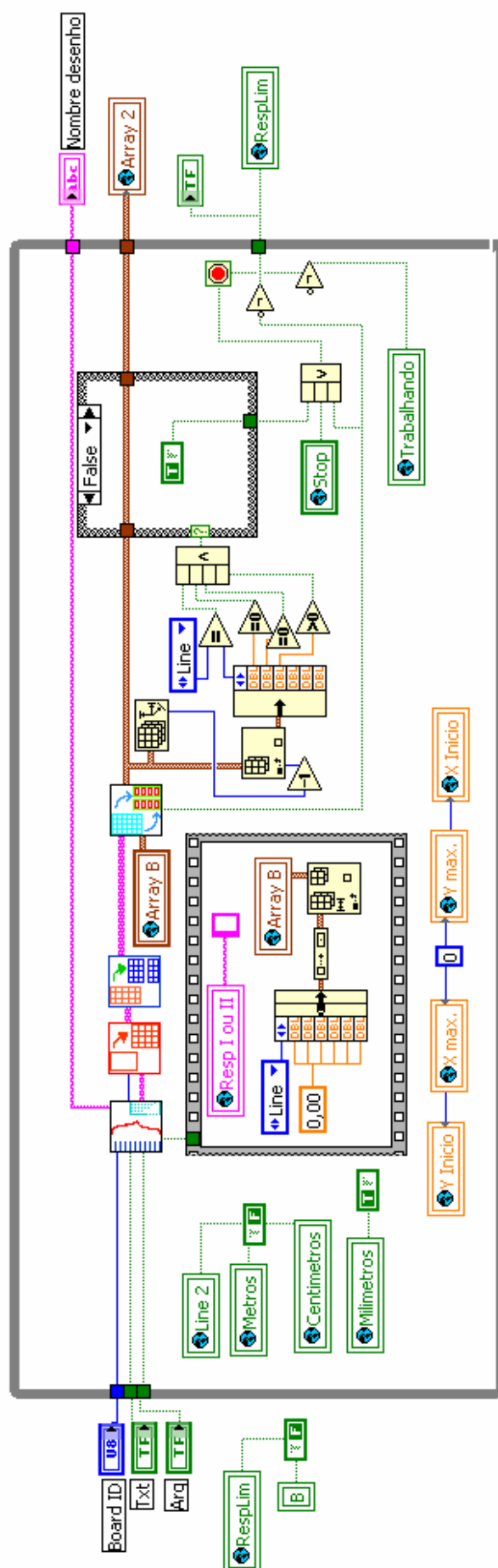
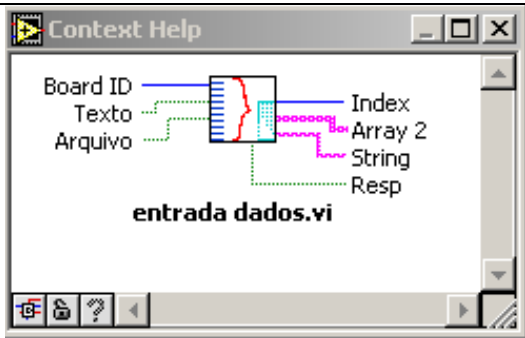
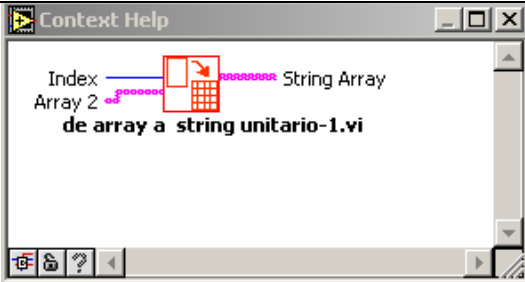
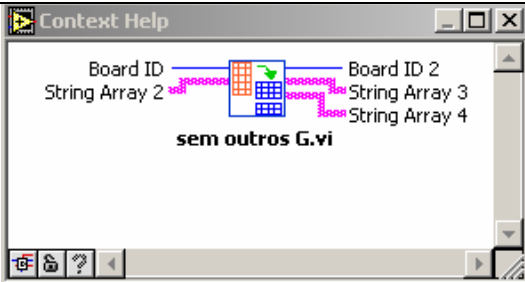
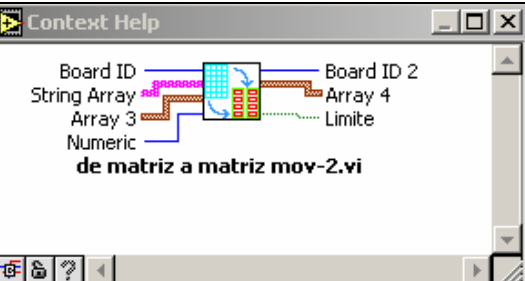


Figura 95 Interior da sub-rotina que cria a matriz posicionamento.

O código da sub-rotina “verificadados.vi” é constituído por outras quatro sub-rotinas (tabela 54).

Tabela 54 Sub-rotinas onde é decodificada a linguagem G.

ÍCONE	FUNÇÃO
	<p>Recolhe o arquivo em formato txt e cria vetores por cada linha do código G.</p> <p>A entrada na primeira sub-rotina é o código G em formato txt e a saída na ultima sub-rotina é a matriz de posicionamento.</p>
	<p>Recolhe o vetor de cada linha do código G e cria uma localização no vetor por cada caractere da linha do código G. Antes da saída desta sub-rotina é checada a sintaxes de escrita ou de decodificação (ACE) da linguagem G.</p>
	<p>Recolhe o vetor da sub-rotina “de array a string.vi” , interpreta entre figuras geométricas (linha ou arco) e preenche um novo vetor com os dados separados, deixando um vetor pronto para o calculo numérico.</p>
	<p>Nesta sub-rotina é feito o calculo matemático dos dados entregue pela sub-rotina “sem outros.vi”, aqui o código G é decodificado em:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Linha: Contendo as posições X, Y e Z, altura de serviço da ferramenta ativa. ➤ Arco: Contendo o raio do arco, ângulo de giro e o ângulo de começo do arco, além de Z, altura de serviço da ferramenta ativa. <p>Os dados entregues pelo código G são muito diferentes aos dados pedidos pela MCB, tem conceitos de posicionamento para as mesmas figuras geométricas muito diferentes, isto faz com que nesta sub-rotina o processamento matemático seja mais trabalhoso, por tanto mais demorado. A saída desta sub-rotina é uma matriz de posicionamento (figura 96).</p>

10

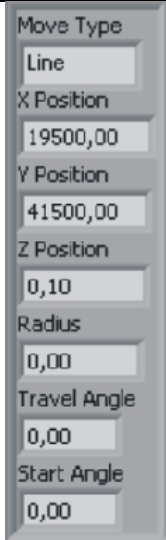
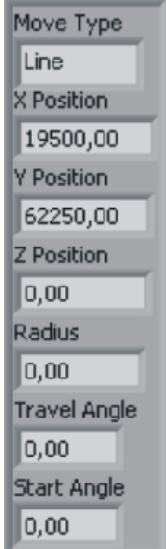
Matriz posicionamento

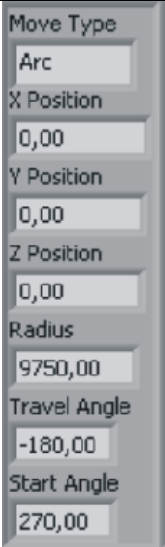
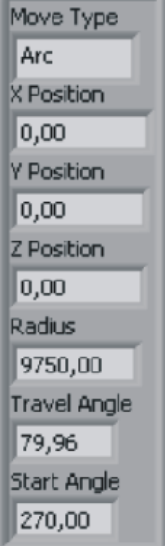
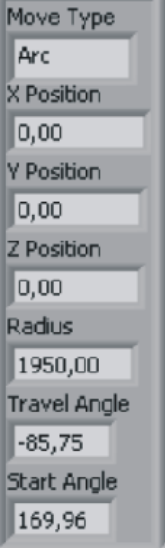
Move Type	Move Type	Move Type	Move Type	Move Type	Move Type	Move Type	Move Type	Move Type	Move Type
Line	Line	Arc	Line	Line	Line	Arc	Arc	Line	Arc
X Position	X Position	X Position	X Position	X Position	X Position	X Position	X Position	X Position	X Position
19500,00	19500,00	0,00	48750,00	19500,00	37245,00	0,00	0,00	37245,00	0,00
Y Position	Y Position	Y Position	Y Position	Y Position	Y Position	Y Position	Y Position	Y Position	Y Position
41500,00	62250,00	0,00	41500,00	41500,00	51875,00	0,00	0,00	51875,00	0,00
Z Position	Z Position	Z Position	Z Position	Z Position	Z Position	Z Position	Z Position	Z Position	Z Position
0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,10	0,00
Radius	Radius	Radius	Radius	Radius	Radius	Radius	Radius	Radius	Radius
0,00	0,00	9750,00	0,00	0,00	0,00	19500,07	1949,86	0,00	3120,00
Travel Angle	Travel Angle	Travel Angle	Travel Angle	Travel Angle	Travel Angle	Travel Angle	Travel Angle	Travel Angle	Travel Angle
0,00	0,00	-180,00	79,96	-85,75	0,00	-84,21	0,00	0,00	360,00
Start Angle	Start Angle	Start Angle	Start Angle	Start Angle	Start Angle	Start Angle	Start Angle	Start Angle	Start Angle
0,00	0,00	270,00	270,00	169,96	0,00	84,21	0,00	0,00	0,00

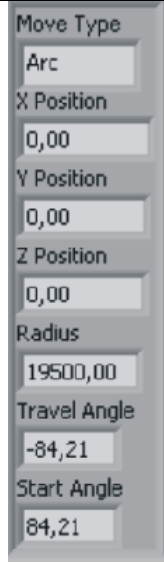
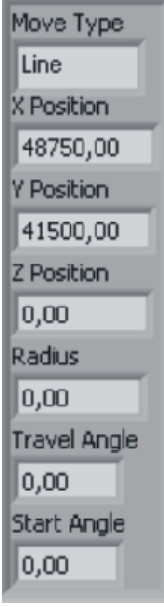
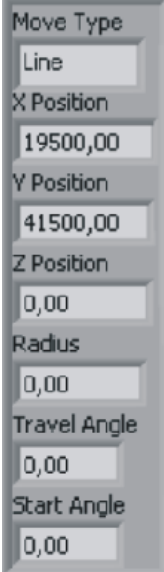
Figura 96 Matriz de posicionamento.

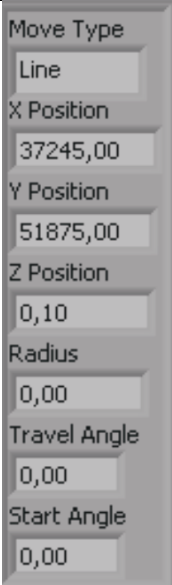
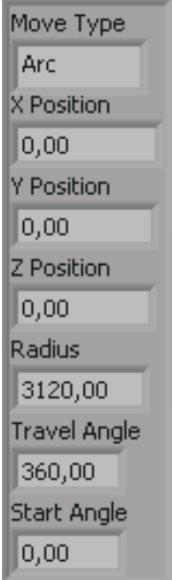
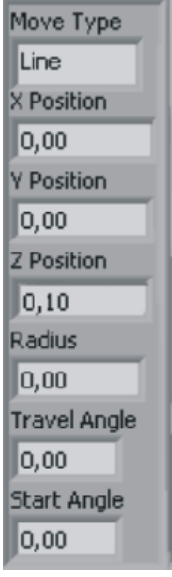
O *software* gerenciador “Equipamulti” uma vez preenchida a matriz de posicionamento envia esta à MCB onde é armazenado na sua memória interna, se desligando do processamento na plataforma *Windows* e do *software* “Equipamulti”. A MCB interpreta a matriz de posicionamento se comunicado com os servoacionamentos para produzir o movimento do EM-01/01. Na tabela 55 mostra-se a concordância entre as linhas de código G e os vetores que formam a matriz posicionamento. Na mudança entre milímetros em que esta o código G a counts o que interpreta o *encoder*, é diferente para cada um dos eixos, o fator de conversão do eixo X é de 39 counts por milímetro e no eixo Y é de 83 counts por milímetro.

Tabela 55 Relação entre linhas de código G e vetores da matriz posicionamento.

Linha de código	Código G		Vetores da matriz posicionamento
1	G00	Z0.10	
2	G00	<p>X500.00 Y500.00</p> <p>O equipamento é movimentado a velocidade máxima posicionando-se neste ponto, a ferramenta uma vez atingida a posição é ativada.</p>	
3	G01	Z0.00	
4	G01	<p>X500.00 Y750.00 Z0.00</p> <p>O equipamento vai do ponto anterior (2) até este novo ponto com a ferramenta ativada.</p>	

Linha de código	Código G	Vetores da matriz posicionamento
5	<p>G02</p> <p>X500.00 Y1250.00 I0.00 J250.00</p> <p>O equipamento faz o primeiro arco se movimentando no sentido horário. Sempre se movimentando com a ferramenta ativa.</p>	
6	<p>G03</p> <p>X746.17 Y1456.42 I0.00 J250.00</p> <p>O equipamento faz o segundo arco se movimentando no sentido contrario do horário. Sempre se movimentando com a ferramenta ativa.</p>	
7	<p>G02</p> <p>X800.45 Y1497.45 I49.23 J-8.72</p> <p>O equipamento faz o terceiro arco se movimentando no sentido horário. Sempre se movimentando com a ferramenta ativa.</p>	

Linha de código	Código G	Vetores da matriz posicionamento
8	<p>G02</p> <p>X1250.00 Y1000.00 I-50.45 J-497.45</p> <p>O equipamento faz o quarto arco se movimentando no sentido horário. Sempre se movimentando com a ferramenta ativa.</p>	
9	<p>G01</p> <p>X1250.00 Y500.00 Z0.00</p> <p>O equipamento terminado o arco (8) faz a linha até este ponto. Sempre se movimentando com a ferramenta ativa.</p>	
10	<p>G01</p> <p>X500.00 Y500.00 Z0.00</p> <p>O equipamento terminado o ponto anterior (9), continua com este novo ponto, uma vez atingido este ponto desativa a ferramenta.</p>	

Linha de código	Código G	Vetores da matriz posicionamento
11	G00 Z0.10	
12	G00 X955.00 Y625.00 O equipamento com a ferramenta desativada, é movimentado na sua velocidade máxima desde o ponto anterior (10) até atingir o novo ponto e ativar a ferramenta.	
13	G01 Z0.00	
14	G03 X955.00 Y625.00 I-80.00 J0.00 O equipamento faz o círculo interno do desenho de exemplo, se movimentando no sentido contrário do horário. Uma vez atingido o círculo e não tendo mais vetores de movimento o <i>software</i> gerenciador “Equipamulti” desliga a ferramenta.	
15	G00 Z0.10 Este vetor é inserido pelo <i>software</i> gerenciador “Equipamulti”, uma vez concluído os deslocamentos dos servoposicionadores seguindo o desenho, estes são enviados à posição “HOME”, esperando o ingresso de outro desenho, ou comando para desligar o equipamento.	

A continuação apresentada na figura 97, a tela gráfica do *software* “Equipamulti” que faz um seguimento em tempo real aos deslocamentos dos servoposicionadores no pórtico X-Y. Esta figura é usada para explicar a seqüência em que o EM-01/01 se movimento. As linhas de cor vermelha indicam a seqüência seguida por os servoposicionadores para gerar o desenho, as linhas descontínuas de cor preta que começa desde o ponto (0,0) até o primeiro ponto do desenho (19500,41500) counts, no segundo deslocamento desde o ponto (19500,41500) counts até (37245,51875) counts e no terceiro deslocamento desde o ponto (37245,51875) counts até (0,0) counts, que é a posição “Home”, o pórtico X-Y desloca-se na sua máxima velocidade sem a ferramenta estar ativada.

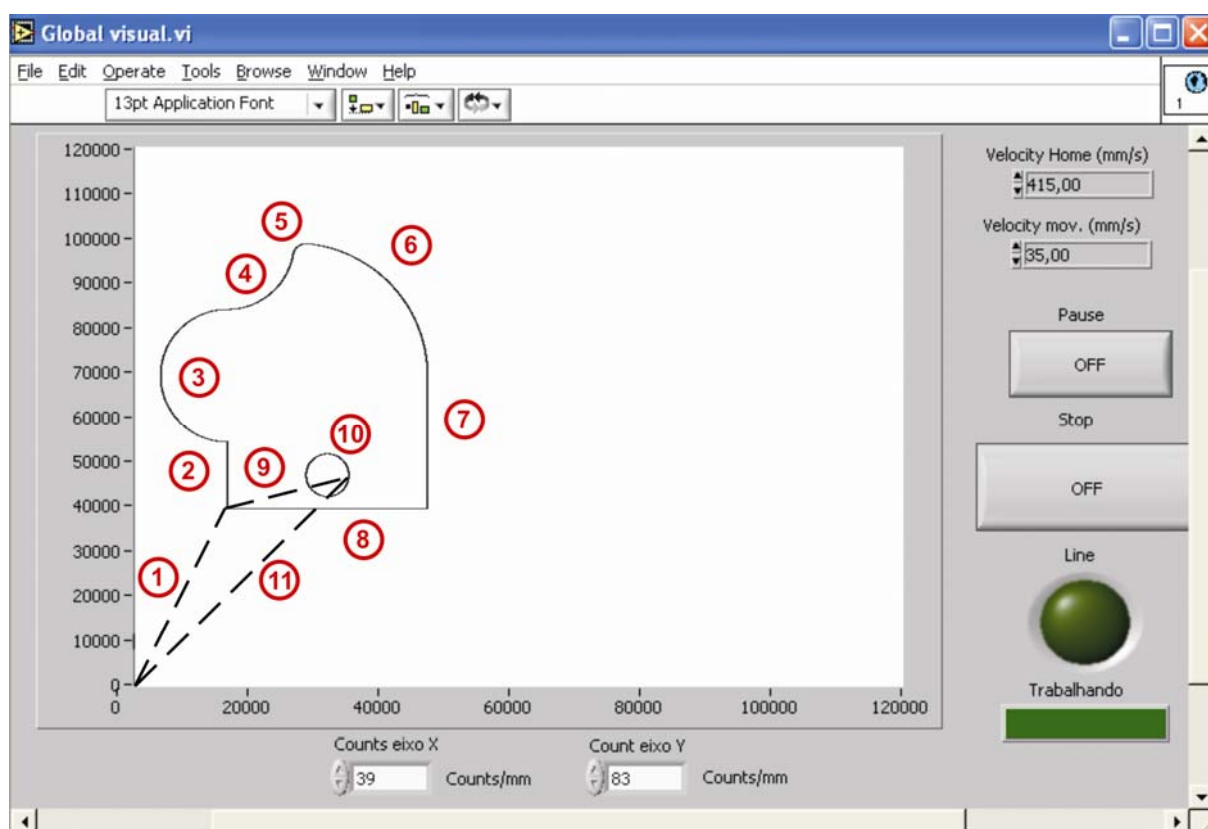


Figura 97 Tela gráfica do *software* “Equipamulti”.